

PROBLEMATYKA SIECI CZASU NA TLE ŚWIATOWEGO STANU TEJ DZIEDZINY W ZAKRESIE TEORII I PRAKTYKI

Część pierwsza artykułu zawiera omówienie prac teoretycznych, druga jest poświęcona omówieniu aktualnego stanu sieci czasu w zakresie rozwiązań praktycznych.

1. Wstęp

Zestawiając różnorodne informacje, które w sumie dają obraz aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie systemów sieci czasu, dochodzi się do wniosku, że zagadnienie to rozwijało się dotychczas właściwie marginesowo: jako margines pomiarów (czasu), margines teletechniki, elektroniki, automatyki, czy wreszcie problemów organizacji.

Wszystkie te gałęzie wiedzy i techniki przełamują się tu w charakterystyczny sposób, tworząc specyfikę problematyki dystrybucji czasu normalnego. Odrębność tego zagadnienia jako całości nie była jednak dostrzegana. Mechanika znajdowała swoje odbicie m.in. w konstrukcjach zegarów wtórnych, teletechnika w systemie przesyłania sygnałów, elektronika w rozwiązaniach współczesnych generatorów częstotliwości określającej skalę czasu itp. Samodzielne, wysoko rozwinięte dyscypliny podstawowe dominowały poszczególne odcinki zagadnienia, które w rezultacie nie stanowiło spójnej całości, lecz raczej zlepek elementów różnego pochodzenia, dopasowywanych do siebie każdorazowo dla realizacji określonych celów praktycznych.

Ostatnio zostały podjęte prace teoretyczne traktujące zagadnienia sieci czasu jako samodzielną dziedzinę. Biegają one jednak nurtem równoległym i nie są powiązane bezpośrednio z działaniami praktycznymi. Sytuacja ta, wyraźnie widoczna przy analizie materiałów źródłowych, znalazła odbicie w układzie niniejszego artykułu. Część pierwsza poświęcona jest głównym problemom podejmowanym w opracowaniach teoretycznych, natomiast część druga zawiera omówienie stosowanych współcześnie w praktyce rozwiązań konstrukcyjnych i systemowych.

2. Przegląd publikacji

Ustawienie problematyki dystrybucji czasu jako zbioru wycinkowych zagadnień konstrukcyjnych podporządkowanych różnym gałęziom techniki, uwidacznia się wyraźnie w materiałach informacyjnych pochodzących z krajów zachodnich, o wysoko rozwiniętym przemyśle i długoletnich tradycjach w dziedzinie stosowania sieci czasu oraz produkcji odpowiednich urządzeń. Są to przede wszystkim RFN, z firmami: Telefonbau und Normalzeit, C.T. Wagner A.G., Siemens A.G., Szwajcaria z firmami: Favag, Patek-Philippe, Bosshard i Szwecja — LM Ericsson. Podobnie przedstawia się sytuacja w tych niefelicznych Krajach Demokracji Ludowej (Czechosłowacja, Bułgaria), w których prowadzono znane nam prace w tej dziedzinie. Ten charakter wcześniejszej literatury przedmiotu nie ulega, jeżeli chodzi o źródła zachodnie, żadnym istotnym zmianom.

Natomiast w Związku Radzieckim ukazało się w ostatnich latach szereg prac teoretycznych z tej dziedziny. Po wydanej w 1951 roku książce W.W. Trojanowskiego „Elektroczasowye systiemy i mecha-

nizmy", mającej zresztą wybitnie opisowy charakter (przy tym w zakresie „systemów”, tak jak zagadnień układowych sieci czasu, bardzo ubogiej), ukazuje się (w 1968 r.), poprzedzona szeregiem drobniejszych publikacji wycinkowych, praca W.A.Szpolanskiego pt. „Elektroczasowyje sistiemy”.

Praca ta stanowi p i e r w s z e syntetyczne ujęcie podstawowych problemów teoretycznych sieci czasu z szerokim uwzględnieniem poszczególnych jej elementów, potraktowanych jako wyodrębniona dziedzina korzystająca wprawdzie ze zdobyczy innych gałęzi wiedzy, lecz świadomie podporządkowująca je własnym, nadrzędnym celom.

Dalszy krok naprzód w zakresie prac teoretycznych stanowi wydana w 1974 roku książka tego autora pt. „Chronometrija”. Obejmuje ona zakres szerszy niż poprzednia. Zagadnienia odnoszące się bezpośrednio do sieci czasu stanowią tu tylko jeden z działów. Całościowe ujęcie problematyki chronometrii sprawia, że niektóre zagadnienia sieci czasu (np. jej aspekt ogólnometrologiczny czy informacyjny) nie są wyodrębnione, lecz zawierają się w rozważaniach dotyczących całości tematu.

Niezależnie od zakresu obu opracowań, w odniesieniu do zagadnień sieci czasu zauważyć można wyraźną ewolucję teorii w kierunku uogólniającym. Niekiedy znajduje to odbicie w użytej terminologii: np. w 1968 roku były omawiane „elektroczasowyje sistiemy” (ЭЧС) i „wtoricznyje czasy” (ВЧ), podczas gdy obecnie te same i tak samo ujęte zagadnienia odnoszone są do „chronometriczeskich sistiem” (ХС) i „chronometriczeskich priborow” (ХП). Na marginesie można zauważyć, że przyjęta w Polsce terminologia ma częstokroć, zarówno w zasadach tworzenia terminów, jak i w definicjach charakter właśnie ogólny, bardziej w istocie odpowiadający pojęciom wprowadzanym przez Szpolanskiego obecnie, niż używanym poprzednio (np. „dystrybucja czasu”, „sieć czasu”). Nie są one związane z jakimkolwiek określonym systemem czy rodzajem urządzeń.

Przy okazji chciałbym uprzedzić czytelnika, że dla wielu nowych pojęć, którymi operują autorzy prac teoretycznych z dziedziny sieci czasu, nie zostały jeszcze ustalone obowiązujące terminy w języku polskim. Słownictwo użyte w takich przypadkach w niniejszym opracowaniu stanowi propozycję autora.

Należy jeszcze zauważyć, że materiały radzieckie nie zawierają właściwie jakichś bardziej interesujących informacji w zakresie rozwiązań praktycznych, zarówno konstrukcyjnych, jak i układowych. Brak jest wielu dostępnych danych co do istniejących systemów i ewentualnie produkcji odpowiednich urządzeń. Wcześniejsze prace, np. W.W.Trojanowskiego „Elektroczasowyje sistiemy i mechanizmy” (1951), czy N.W.Sidorowa „Ekspluatacja elektroczasowych ustrojstw” (1969), wskazują na stosowanie tradycyjnych konstrukcji i prostych, typowych rozwiązań układowych. Natomiast dość szeroko rozbudowana w pierwszej książce Szpolanskiego (1968) część omawiająca typowe rozwiązania, zawiera informacje raczej wtórne, dotyczące rozwiązań stosowanych za granicą, znanych już wystarczająco z innych źródeł a niektóre rozwiązania np. z dziedziny kontroli zwrotnej, pochodzą sprzed, co najmniej, kilkunastu lat.

3. Podstawowe zagadnienia teorii sieci czasu

Przyjęta w literaturze radzieckiej [18] ogólna klasyfikacja sieci czasu wprowadza kilka równoległych podziałów na typy, w zależności od:

- algorytmu współpracy urządzeń sterujących i odbiorczych (kodowa, kodowa na żądanie, z działaniem synchronicznym^{*)}, z synchronizacją urządzeń autonomicznych, z korekcją urządzeń autonomicznych),

^{*)} W terminologii rosyjskiej używa się w tym przypadku po prostu określenia „synchroniczny” (synchroniczna sieć czasu, urządzenie synchroniczne itp.). W terminologii polskiej określenia takie związane są ze stosowaniem napędu zasilanego prądem przemiennym sinusoidalnym (silnik synchroniczny), a więc jedną tylko z możliwych odmian systemu określanego w oryginale rosyjskim jako synchroniczny. Wprowadzenie w tekstach polskich terminu „synchroniczny” w znaczeniu rozszerzonym mogłoby w tej sytuacji prowadzić do nieporozumień.

- stanu rozproszenia urządzeń (w grupach lub równomiernie rozproszone),
- rozmieszczenia przestrzennego urządzeń (liniowe, powierzchniowe, przestrzenne),
- stopnia centralizacji systemu (zdecentralizowany, jednoogniskowy, wieloogniskowy, polimorficzny),
- konfiguracji układu połączeń (jednoliniowy, promieniowy, rozgałęziony, krzaczasty—hierarchiczny, krzaczasty z połączeniami obwodowymi),
- rodzaju środków łączności (przewodowe z łączem własnym lub abonamentowym, radiowe z łączem własnym lub abonamentowym, telewizyjne z łączem abonamentowym).

Obok podziału na typy, przyjęto podział na odmiany, w zależności od przeznaczenia sieci (informacyjne, sterujące, informacyjno—sterujące), a także wskazano możliwość dalszych podziałów, w zależności od przyjętych kryteriów np. lokalizacji (sieci stacjonarne i obiektów ruchomych), zasięgu (lokalne, specjalistyczne, państwowe, międzynarodowe) itp.

Charakterystyczne własności sieci czasu odpowiadające podstawowym kryteriom podziałów są ujęte w formy matematyczne.

Z a k r e s i n f o r m a c j i o czasie przekazywanej do urządzeń odbiorczych I_t wyraża się, w zależności od systemu współpracy, wzorami:

dla systemu kodowego na żądanie:

$$I_t^{(1)} = N_z \log M_t$$

gdzie

N_z — liczba zapytań w przedziale czasu t

M_t — liczba wskazań czasu przekazywanych przez zegar pierwotny

dla systemu kodowego:

$$I_t^{(2)} = M_t \log M_t$$

dla działania synchronicznego:

$$I_t^{(3)} = M_t \left\{ \frac{\Delta t}{\tau_t} \log \frac{\Delta t}{\tau_t} + \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau_t}\right) \log \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau_t}\right) \right\}$$

gdzie

Δt — zdolność rozdzielcza urządzenia odbiorczego

τ_t — wartość podziałki skali urządzenia odbiorczego, przy czym w tym przypadku jest niezbędna dodatkowa informacja o epoce początkowej rachuby czasu $I_{to}^{(3)} = \log M_t$

dla systemu z synchronizacją:

$$I_t^{(4)} = M_t \ln \frac{\Omega_t(\tau_t)}{\Delta t} \sqrt{2\pi e}$$

gdzie $\Omega_t(\tau_t)$ — przyrost poprawki w przedziale τ_t ,

dla systemu z korekcją:

$$I_t^{(5)} = \ln \frac{\Omega_t(\Delta t_k^{(i)})}{\Delta t} \sqrt{2\pi e}$$

gdzie $\Delta t_k^{(i)}$ — przedział czasu pomiędzy kolejnymi korektami.

Liczba połączeń n_c w sieci złożonej z n^* urządzeń wyraża się, w zależności od stopnia centralizacji systemu, wzorami:

dla systemu zdecentralizowanego:

$$n_c^{(1)} = \frac{1}{2} n(n-1),$$

dla systemu jednoogniskowego:

$$n_c^{(2)} = n - 1,$$

dla systemu wieloogniskowego:

$$n_c^{(3)} = n_1 (n - n_1),$$

gdzie n_1 — liczba ognisk-generatorów

dla systemu polimorficznego:

$$n_c^{(4)} = n$$

Niezawodność sieci czasu jest dla prostych systemów określona wzorami:

$$H'_{sc} = H_{zp} \prod_{i=1}^{n-1} R_{zw_i} \quad \text{— dla przypadku gdy o niesprawności sieci decydują nieprawidłowe wskazania wszystkich urządzeń,}$$

lub

$$H''_{sc} = H_{zp} \prod_{i=1}^{n-1} H_{zw_i} = H_{zp} \prod_{i=1}^{n-1} (1 - R_{zw_i}) \quad \text{— dla przypadku gdy o niesprawności decydują nieprawidłowe wskazania choćby jednego z odbiorców}$$

gdzie

H_{zp} — wskaźnik efektywnej wiarygodności generatora sterującego

R_{zw_i} — wskaźnik zawodności i-tego odbiornika

H_{zw_i} — wskaźnik efektywnej wiarygodności i-tego odbiornika

n — liczba ogólna urządzeń w sieci

Rozpatrując możliwość zniekształcenia sygnałów zakłóceniami w łączu określa się prawdopodobieństwo odebrania fałszywego sygnału, wzorem:

$$P_i = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \operatorname{Erfc} \left(\frac{i_0}{\sqrt{2} |\xi|} \right)$$

a prawdopodobieństwo nieodebrania sygnału prawidłowego, wzorem:

$$P_p = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \operatorname{Erfc} \left(\frac{i_m - i_0}{\sqrt{2} |\xi|} \right)$$

*¹) Liczba ta obejmuje łącznie, zarówno urządzenia odbiorcze jak i generatory sygnałów.

gdzie

$\text{Erfc} \dots$ — jest funkcją stabelaryzowaną

i_o — minimalny poziom sygnału działający na odbiornik

i_m — poziom sygnału

Rozpatrując możliwość powstania samousuwalnych uszkodzeń łącza lub odbiornika, prawdopodobieństwo zgubienia jednostkowego sygnału określa się wzorem:

$$p_* = p_k + p_{zw} - p_k p_{zw}$$

gdzie

p_k — prawdopodobieństwo uszkodzenia łącza

p_{zw} — prawdopodobieństwo uszkodzenia odbiornika

Sumaryczne prawdopodobieństwo niezrealizowania wysłanej informacji określa wzór:

$$P_p^* = p_* + P_p (1 - p_*)$$

Wskaźnik wiarygodności jest dla poszczególnych systemów współpracy określany wzorami:

dla pracy synchronicznej

$$D_1 = 1 - \sum_{n=1}^N (u_{x_o, n} + v_{x, n})$$

dla systemu z synchronizacją

$$D_2^{(0)} = e^{-\frac{t-t_0}{\langle \tau_1(M) \rangle_2}}$$

dla systemów kodowych

$$D_3 = \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{Erfc} \left(\frac{i_o}{\sqrt{2} \{\xi\}} \right) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{Erfc} \left(\frac{i_m - i_o}{\sqrt{2} \{\xi\}} \right) \right] E(1 - \log M_t)$$

dla systemu z korekcją

$$D_4 = 1 - (1 - H_k)^{n-1} [1 - D(nT_k)] + H_k^{n-1} [1 - D^n(T_k)] + \sum_{i=1}^{n-2} (n-1-i)(1-H_k)^i H_k^{n-2-i} [1 - D(iT_k)]$$

Niezawodność sieci czasu jest rozpatrywana nie tylko w zależności od właściwości łącza i systemu współpracy urządzeń, lecz również w zależności od konfiguracji układu połączeń.

Wskaźnik niezawodności strukturalnej określający liczbę odbiorników zachowujących połączenie z urządzeniem sterującym w określonym przedziale czasu, w odniesieniu do łącznej liczby urządzeń wchodzących w skład sieci, jest określony wzorem:

$$H(s) = 1 + n^{-1} \sum_{i=1}^n p_i$$

gdzie

p_i — prawdopodobieństwo przerwania połączenia urządzenia sterującego z i -tym odbiornikiem

n — ogólna liczba urządzeń w sieci

Prace omawiające to zagadnienie [17] i [18] zawierają typowe przykłady analizy niezawodności strukturalnej sieci czasu. Zamieszczony tamże wykres, wykazuje spadek niezawodności strukturalnej wraz ze wzrostem liczby odbiorników, przy czym szybkość tego spadku jest zależna od liczby połączeń (przy tej samej liczbie odbiorników największa jest dla układu jednoliniowego, najmniejsza dla układu promieniowego). Jedyne w przypadku układu tworzącego wszystkie możliwe połączenia pomiędzy wszystkimi odbiornikami, niezawodność strukturalna wzrasta ze wzrostem liczby odbiorników.

W pracach Szpolanskiego podjęte zostało, jedno z najistotniejszych z punktu widzenia podstaw teoretycznych, zagadnienie optymalizacji sieci czasu na podstawie ogólnych kryteriów techniczno-ekonomicznych.

W książce „Elektroczasowye systemy” rozpatrzono szereg cząstkowych wskaźników porównawczych dla różnych typów sieci, natomiast w „Chronometrii” wyprowadzony został wzór syntetyczny, uwzględniający takie czynniki jak efektywność informacji, niezawodność, koszty i pozwalający określić liczbowo ogólną wartość użytkową sieci. Przyjmuje on ostatecznie postać:

$$C(q, \beta_n^{(2)}, \epsilon_e, \epsilon_1) = \Delta E_{sc} \left\{ 1 - \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1^{q-1} - 1} \cdot \frac{(\epsilon_e \epsilon_1)^{q-1} - 1}{\epsilon_e^{q-2} (\epsilon_1 \epsilon_e - 1)} + \right. \\ \left. + \beta_n^{(2)} \frac{\epsilon_1^{q-2} (\epsilon_1 - 1)^2}{\epsilon_e^{q-2} (\epsilon_1^{q-1} - 1)^2 (\alpha_n - 1)} \left[\alpha_n^{(q-1)} \frac{(\epsilon_e \epsilon_1)^{q-1} - 1}{\epsilon_1 \epsilon_e - 1} - \alpha_n^{q-2} \frac{(\epsilon_1 \epsilon_e \alpha_n^{-1})^{q-1} - 1}{\epsilon_1 \epsilon_e \alpha_n^{-1} - 1} \right] \right\} + \\ + (q-1) Z_{up}^{(o)} + \frac{\lim Z_{L}}{\sqrt{2\pi}} n_{ow} (n_{ow}^{[2(q-1)]} - 1)^{-1}$$

gdzie q — liczba stopni hierarchicznej sieci czasu

$$\beta_n^{(2)} = \lambda_2^2 / \mu_2^{(2)}$$

λ_2^2 i $\mu_2^{(2)}$ — parametry strumienia uszkodzeń i regeneracji generatora informacji pracującego w jednoogniskowej sieci o dwustopniowym układzie promieniowym

ΔE_{sc} — przyrost efektywności, w wyniku połączenia urządzeń pomiarowych w sieć czasu, w stosunku do analogicznych urządzeń autonomicznych

ϵ_1 — wskaźnik rozkładu informacji o czasie na poszczególne stopnie sieci czasu

ϵ_e — podstawa funkcji właściwej wartości informacji o czasie

$$\alpha_n = \frac{\lambda_j^{(q)}}{\mu_j^{(q)}} \cdot \frac{\mu_{j+1}^{(q)}}{\lambda_{j+1}^{(q)}}$$

λ i μ — parametry strumienia uszkodzeń i regeneracji urządzeń j-ego i j+1-go stopnia sieci czasu

$Z_{up}^{(o)}$ — wydatki na aparaturę dowolnego stopnia sieci czasu

Z_t — wydatki na jednostkę długości łącza

n_{ow} — ogólna liczba urządzeń odbiorczych w sieci czasu

Optymalną siecią czasu jest sieć o parametrach minimalizujących wartość funkcji wyrażonej powyższym wzorem. Jednocześnie podkreśla się możliwość tworzenia systemów złożonych, w odróżnieniu od systemów jednorodnych do jakich była odnoszona większość omawianych uprzednio parametrów.

Problemy informacyjne (w aspekcie informacji przekazywanej użytkownikowi) sieci czasu nie są w omawianych pracach wyodrębnione. Natomiast zagadnienia te, opracowane w [18] w odniesieniu do ogólnej problematyki chronometrycznej, mogą być, jako podstawowe, odnoszone do sieci czasu i jej elementów (w szczególności urządzeń odbiorczych) w tym samym stopniu co do przyrządów autonomicznych.

Według użytego sformułowania [18], ilość informacji o czasie uzyskiwana w procesie pomiaru czasu jest określona wielkością obniżenia niedokładności znajomości epoki lub długości przedziału czasu, które uzyskano dzięki temu pomiarowi.

Ilość (średnia) informacji o czasie określana jako różnica (średnia) niedokładności znajomości czasu po i przed pomiarem (a więc po i przed dostarczeniem informacji) jest wyrażona wzorem:

$$\langle I_{to} \rangle = H(t) - H(t | \bar{t})$$

Ogólna ilość informacji w tym i dalszych przypadkach wyraża się wzorem

$$I_t = M_t^* \langle I_{to} \rangle$$

gdzie M_t^* — ogólna liczba wskazań

Średnią ilość informacji o czasie otrzymywanej w przypadku ogólnym przez jej odbiorcę przy pojedynczym wskazaniu czasu, określa wzór

$$\langle I_{to}^{(o)} \rangle = H^o(t) - H(t | \bar{t})$$

gdzie $H^o(t)$ — poprzedzająca otrzymanie informacji niedokładność wiadomości odbiorcy tej informacji

Uchybienie przyrządu pomiarowego (zegara) zmniejsza ilość przekazywanej przezeń informacji o wartość $\langle D_{to} \rangle$ określającą jednostkową wartość dezinformacji

$$\langle I_{to} \rangle = \langle I_{to} \rangle_{\max} - \langle D_{to} \rangle$$

i analogicznie dla ogólnej ilości informacji

$$I_t = I_{t \max} - D_t$$

Ilość informacji otrzymywanej przez odbiorcę, przy pojedynczym wskazaniu, wyraża się w przypadku zegara idealnego, wzorem:

$$\langle I_{to}^{(o)} \rangle = H^0(t)$$

a ogólna ilość informacji

$$I_{t \max}^0 = M_t H^0(t)$$

W przypadku zegara niedokładnego te same ilości informacji wyrażone są wzorami

$$\langle I_{to}^0 \rangle = \langle I_{to}^0 \rangle_{\max} - \langle D_{to} \rangle$$

i

$$I_t^{(o)} = I_{t \max}^{(o)} - D_t$$

Rozważane są tutaj dwa przypadki

gdy

$$\langle D_{to} \rangle \ll \langle I_{to}^{(o)} \rangle_{\max}$$

lub

$$\langle D_{to} \rangle \gg \langle I_{to}^{(o)} \rangle_{\max}$$

tj. gdy wielkość pochodzącej od zegara dezinformacji jest mniejsza lub gdy przekracza wielkość informacji posiadanej wcześniej przez odbiorcę.

Według Szpolanskiego, w pierwszym przypadku mamy jeszcze do czynienia z informacją (aczkolwiek odpowiednio ograniczoną), w drugim natomiast można mówić tylko o dezinformacji. Część informacji przekazywanej odbiorcy, pokrywająca się z informacją już przez niego posiadaną, określana jako informacja zbyteczna, jest wyrażana wzorem:

$$\Delta I_{to} = \langle I_{to} \rangle - \langle I_{to}^{(o)} \rangle$$

lub

$$\Delta I_{to} = H(t) - H^0(t)$$

„Ilość informacji o czasie dostarczona przez zegar dowolnemu odbiorcy równa jest łącznej ilości informacji o czasie otrzymywanej przez odbiorcę i posiadanej przez niego do chwili odczytania wskazania zegara” [18]. W omówionych rozważaniach nie uwzględniono jednak pewnych specyficznych właściwości sieci czasu (a przynajmniej niektórych podstawowych typów), które mogłyby mieć wpływ na ujęcie zagadnień ilości i jakości informacji przy ich rozpatrywaniu w odniesieniu do sieci czasu. W znanych opracowaniach brak jest rozwinięcia rozpatrzonych wyżej problemów teoretycznych w kierunku praktycznym. W szczególności w pracy Szpolanskiego „Elektroczasowyje sistemi”, zawierającej szerokie omówienie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych, zwraca uwagę brak etapu pośredniego, wiążącego rozważania teoretyczne z częścią praktyczno-opisową. Przy jednoczesnym braku informacji o stanie produkcji i oryginalnych pracach konstrukcyjnych w ZSRR, można przypuszczać, że brak jest tego rodzaju opracowań przejściowych, przynajmniej w szerszym zakresie.

4. Rozwiązania praktyczne w zakresie systemów i układów

Przechodząc do omówienia aktualnego stanu w zakresie rozwiązań praktycznych, ze względu na powszechność stosowania można ograniczyć się do określonego systemu złożonego, zawierającego elementy niektórych, omówionych przez Szpolanskiego prostych typów sieci czasu. Podstawę jego stanowi sieć czasu z synchroniczną (według nomenklatury Szpolanskiego) pracą urządzeń, a uściślając, podtyp określony jako „synchroniczno—impulsowy”. Łączony on bywa z typem sieci z synchronizacją, bądź jako elementem wewnętrznym, bądź jako odrębnym stopniem sieci wielostopniowej. Niekiedy zawiera także elementy pozostałych sposobów współpracy urządzeń.

W zakresie stopnia centralizacji są reprezentowane, poza systemem zdecentralizowanym, wszystkie pozostałe typy, z tym, że jak się wydaje przeważa system jednoogniskowy lub, głównie w zakresie sieci lokalnych, zminimalizowana wersja systemu polimorficznego (z dwoma współpracującymi zegarami pierwotnymi).

Spotykane konfiguracje układu połączeń są związane ze stanem rozproszenia i rozmieszczeniem urządzeń w poszczególnych sieciach, a także rodzajem zastosowanego środka łączności: w sieciach przewodowych są stosowane najczęściej różne, zależne od rozmieszczenia urządzeń, odmiany układów rozgałęzionego lub krzaczasto—hierarchicznego, natomiast sieci bezprzewodowe, z reguły radiowe, mają w zasadzie układ promieniowy.

W zakresie rodzaju środka łączności dominują połączenia przewodowe z własnymi łączami. Są one stosowane, z nielicznymi wyjątkami rozwiązań o charakterze doświadczalnym, we wszystkich sieciach z urządzeniami pracującymi synchronicznie. Natomiast połączenia bezprzewodowe (w praktyce radiowej) są coraz szerzej stosowane w sieciach z synchronizacją (jako samodzielnym stopniem), niekiedy również z korekcją i in.

W zakresie zastosowań współczesne sieci czasu są z reguły sieciami informacyjnymi lub informacyjno—sterującymi, przy czym odsetek i znaczenie tych ostatnich szybko wzrasta. Sieci wyłącznie sterujące są, jak się wydaje, rzadkością. Obserwowany rozwój zastosowań sieci czasu jest ściśle związany z rozwojem automatyki.

Urządzeniami odbiorczymi sieci czasu, przeznaczonymi do bezpośredniego wykorzystywania informacji o czasie, oprócz zegarów są również urządzenia rejestrujące czas lub przebiegi w funkcji czasu, mechanizmy programowe (często wbudowywane do central zegarowych) i inne urządzenia służące wykorzystaniu przekazywanej przez sieć czasu informacji w systemach automatyki przemysłowej. Sieci czasu mogą też być związane z systemami obliczeniowymi i informatycznymi jako źródła informacji o skali lub rachubie czasu wykorzystywanej bądź dla wewnętrznych potrzeb systemu, bądź też jako źródła jednej z przetwarzanych informacji.

Powszechnie spotykanym rozwiązaniem jest jednostopniowa sieć lokalna obejmująca określoną jednostkę organizacyjną lub terytorialną (zakład przemysłowy, miasto itp.). Praca synchroniczna jest realizowana tu drogą bezpośredniego sterowania urządzeń odbiorczych, powiązanych łączami przewodowymi, za pomocą impulsów wysyłanych przez centralę czasu, w skład której wchodzi jeden (system jednoogniskowy) lub kilka (system polimorficzny) zegarów pierwotnych.

Należałoby w tym miejscu zwrócić uwagę na to, że wobec braku bezpośrednich powiązań między rozważaniami teoretycznymi a rozwiązaniami praktycznymi, ze sformułowań użytych w literaturze nie wynika jasno jak należy rozumieć pojęcie systemu polimorficznego w zestawieniu z konkretnymi układami. Ściślej mówiąc, czy system należy uważać za polimorficzny, niezależnie od rodzaju współpracy między zegarami wchodzącymi w skład centrali czasu, czy też uważać go za polimorficzny tylko w przypadku określonego, zależnie od przyjętego kryterium, rodzaju współpracy zegarów. Zdaniem autora należy przyjąć kryterium metrologiczne i za system polimorficzny uważać taki układ, w którym wszystkie brane pod uwagę generatory sygnałów współpracujące z urządzeniem translacyjnym, mają wpływ na wartości metrologiczne informacji wysyłanej do urządzeń odbiorczych. Praktycznie ma to

miejsce wówczas, gdy generatory te wzajemnie się synchronizują lub korygują, niezależnie od tego z którego pochodzi wysyłana dalej informacja.*¹⁾ Nie byłby zatem systemem polimorficznym bardzo często stosowany układ, w którym w skład centrali czasu wchodzi dwa całkowicie niezależne od siebie zegary pierwotne, z których jeden stanowi rezerwę. Jest to w istocie odmiana systemu jednoogniskowego, ponieważ każdorazowo informacja pochodzi od jednego tylko zegara pierwotnego, od którego właściwości metrologicznych jest uzależniona.

System dwuogniskowy jest stosowany np. przez projektantów zachodnioniemieckich, głównie dla większych sieci o rozmieszczeniu liniowym. Charakterystycznym przykładem są kolejowe sieci czasu np. projekt sieci dla linii kolejowej Madryt — Miranda, a przede wszystkim sieć czasu kolei zachodnioniemieckich, w której na wszystkich stopniach konsekwentnie jest realizowana zasada powiązania każdego punktu z dwoma niezależnymi generatorami sygnałów sterujących lub synchronizujących.

Lokalne sieci czasu o pracy synchronicznej są często łączone w wielostopniowe systemy hierarchiczne, których wyższe stopnie pracują na zasadzie synchronizacji lub korekcji generatorów sygnałów niższego stopnia przez generator nadrzędny. Do niedawna, rozwiązania wykorzystujące do przesyłania sygnałów synchronizujących lub korygujących łącza przewodowe, były stosowane jedynie w nielicznych wyspecjalizowanych sieciach o dużym zasięgu, np. sieć czasu kolei zachodnioniemieckich. Centralny wzorzec tej sieci (centrala zegarowa w Hamburgu) jest synchronizowany przez wzorzec Niemieckiego Instytutu Hydrograficznego. Z kolei sygnał wysyłany z Hamburga służy do synchronizacji zegarów we Frankfurcie n/Menu i w Norymberdze, a te z kolei synchronizują zegary w pozostałych siedzibach okręgów. Sygnały z okręgowej centrali czasu służą do synchronizacji zegarów pierwotnych na terenie okręgu, sterujących już bezpośrednio urządzeniami odbiorczymi sieci lokalnych.

Ostatnio w związku z rozwojem radiokomunikacji i budową coraz dokładniejszych, lecz skomplikowanych i kosztownych wzorców czasu (wysokiej klasy zegary kwarcowe, zegary atomowe), do przesyłania sygnałów synchronizujących lub korygujących generowanych przez nieliczne, wysokiej klasy wzorce, wykorzystywane są w coraz szerszym zakresie połączenia radiowe. Istotne znaczenie mają przy tym sygnały nadawane przez specjalne, tylko do tego przeznaczone radiostacje jak np. odbierane w Polsce stacje HBG (Prangines — Szwajcaria) — sygnały generowane przez wzorzec rubidowy, porównywany cezowym wzorcem państwowym, o dokładności $\pm 2 \times 10^{-11}$, OMA (Podebrady — CSRS) — stałość częstotliwości 1×10^{-9} , synchronizowana z państwowego wzorca czasu i częstotliwości CSRS i inne.

Struktura systemów przekazujących sygnały drogą radiową ma z natury charakter otwarty i układ promieniowy, ponieważ możliwość wykorzystania sygnałów odbieranych bezpośrednio przez każde urządzenie, jest ograniczona w zasadzie jedynie zasięgiem stacji nadawczej.

Sygnały przekazywane drogą radiową są stosowane do korygowania różnego typu bezpośrednio wskazujących czas zegarów jak np. szwajcarski system „Prangines” (wykorzystujący sygnały stacji HBG), czy japoński system „Accuratick” (wykorzystujący sygnały ILY). Są one również stosowane do synchronizacji miejscowych zegarów (z reguły kwarcowych) jak np. system syntonizacji zegarów firmy Elektročas — CSRS wykorzystujący sygnały stacji OMA, czy system synchronizacji centrali czasu CRISTALTIME szwajcarskiej firmy Favag wykorzystujący również sygnały stacji HBG. Jeżeli synchronizowane zegary pełnią przy tym funkcję zegarów pierwotnych lokalnej sieci czasu, sieć radio-synchronizacji stanowi wyższy stopień dwustopniowej sieci czasu.

Należałoby jeszcze wspomnieć o próbach przesyłania drogą radiową sygnałów sterujących urządzeniami odbiorczymi w sieci czasu pracującej synchronicznie, do których można zaliczyć dosyć szeroko

*¹⁾ Charakterystycznym przykładem może być wprowadzone w kraju rozwiązanie zespołu składającego się z dwóch zegarów kwarcowych Chronopuls QS3 i centrali zegarowej Chronopuls P2, w którym sygnał przekazywany do urządzeń odbiorczych pochodzi z jednego zegara pierwotnego (zasadniczego). Jednak dzięki wzajemnej synchronizacji zegarów zasadniczego i rezerwowego, przekazana informacja jest uśrednieniem indywidualnych właściwości metrologicznych obu tych zegarów.

reklamowany przed kilku laty, system bułgarski „Radiosynchron”. Nie wydaje się, aby tego rodzaju systemy mogły rozwinąć się szerzej (przynajmniej w najbliższym okresie). Radiosygnaly są bowiem z natury szczególnie wrażliwe na różnorodne zakłócenia zewnętrzne, a w sieciach czasu pracujących synchronicznie nawet pojedyncze zakłócenie w przekazywaniu sygnałów powoduje trwałe sfałszowanie informacji o rachubie czasu. Brak dalszych informacji o losach wspomnianego systemu „Radiosynchron” wydaje się wskazywać, iż nie znalazł on szerszego zastosowania.

5. Konstrukcja elementów sieci czasu

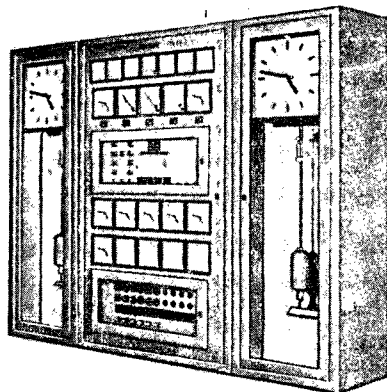
Rozwój konstrukcji elementów sieci czasu jest ściśle uwarunkowany ogólnymi postęпами techniki, a w szczególności teletechniki i elektroniki, jako że urządzenia do pomiaru i dystrybucji czasu dawno przestały być wyłączną domeną mechaniki precyzyjnej.

Zgodnie z przyjętą systematyką (PN-71/M-54631), w skład sieci czasu wchodzi następujące podstawowe grupy urządzeń: urządzenia sterujące (w tym generatory sygnałów i urządzenia transmisyjno-kontrolne), elementy przekazujące, elementy zasilające, urządzenia odbiorcze.

Generatory

Generatorami sygnałów są w praktyce zegary pierwotne, czyli urządzenia, które pracując w sposób ciągły służą jednocześnie do generacji impulsów sterujących i do konserwacji czasu. Impulsatory, generatory sygnałów pozbawione możliwości konserwowania czasu, służą niekiedy jako źródła sygnałów synchronizujących. Wówczas to podstawą działania jest informacja jedynie o skali czasu (porównanie częstotliwości wzorca lokalnego i nadrzędnego), bez potrzeby odwoływania się w któreikolwiek chwili do jego rachuby.

Najpowszechniejszym do niedawna typem zegara pierwotnego był zegar wahadłowy. Jego zalety, jak wysoka dokładność, prostota konstrukcji, niezawodność działania, powodowały, że przez wiele lat ulegał on stosunkowo nieznacznym zmianom. Główną wadą zegarów wahadłowych są wysokie wymagania co do warunków pracy, wynikające szczególnie z wrażliwości tych zegarów na drgania i wstrząsy, które obniżają ich dokładność, a niekiedy nawet uniemożliwiają zastosowanie. Ulepszenia zegarów pierwotnych wahadłowych szły głównie w kierunku zmniejszenia obciążenia wahadła pracą związaną ze sterowaniem napędu. Bezpośrednie mechaniczne powiązanie z mechanizmem wskazań i nadawania impulsów sterujących, zastąpiono połączeniem elektrycznym. W układzie tym wahadło jedynie mechanicznie lub bezdotykowo (magnetycznie, indukcyjnie czy fotoelektrycznie) uruchamia styki zamykające i otwierające obwód elektryczny. Poprawiono w ten sposób właściwości metrologiczne zegarów. Jednocześnie jednak delikatne układy bezpośrednio sterowane przez wahadło, wymagały wprowadzenia na wyjściu, jako stopnia pośredniego, odpowiednich wzmacniaczy impulsu (przełącznikowych, a następnie elektronicznych). Skomplikowało to prostą dotychczas konstrukcję, a wprowadzone dodatkowe elementy obniżyły niezawodność całego urządzenia. Zastosowanie zegarów balansowych jako zegarów pierwotnych ograniczyło się w praktyce do małych i prostych sieci czasu o niskich wymaganiach dokładności lub do przypadków, kiedy warunki pracy uniemożliwiały zastosowanie zegarów pierwotnych wahadłowych, np. sieci czasu obiektów ruchomych (okręty, samoloty, pociągi).

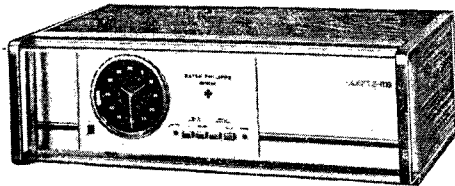


Fot. 1. Centrala czasu firmy TuN (RFN) wyposażona w dwa zegary pierwotne wahadłowe

Rozwój elektroniki otworzył możliwości zastosowania kwarcowych generatorów częstotliwości jako zegarów pierwotnych. Pierwsze generatory kwarcowe pojawiły się w latach trzydziestych naszego stulecia. Dopiero jednak ok. dwudziestu lat temu dokładność ich przekroczyła osiągnięcia precyzyjnych zegarów wahadłowych. Jednakże jeszcze przez dłuższy czas możliwość stosowania generatorów kwarcowych jako zegarów pierwotnych była hamowana niedoskonałością podzespołów o dużych gabarytach i niezadawalającej dla techniki zegarowej pewności działania, szczególnie w pracy długotrwałej. Obecnie zegary kwarcowe niemal całkowicie^{*)} wyparły zegary wahadłowe wysokiej klasy. Proste konstrukcyjnie zegary wahadłowe średniej klasy (niekiedy także zegary balansowe, a nawet synchroniczne) stosuje się jeszcze w sieciach małych o niskich wymaganiach metrologicznych.

Zegary wahadłowe są jeszcze (choćby prawdopodobnie nie w pełnym podanym niżej asortymencie) produkowane przez firmy: LM Ericsson (Szwecja) — zegary z wahadłem 3/4 s (dokładność — określona najprawdopodobniej^{**}) przez maksymalny dobowy przyrost poprawki ± 10 s/dobę) i 1/2 s (± 30 s/dobę); J. Bosshard (Szwajcaria) — zegary z wahadłem 1 s (± 5 s/dobę); 2/3 s (± 10 s/dobę) i 1/2 s (± 20 s/dobę); Telefonbau und Normalzeit (RFN) — zegary z wahadłem 1 s ($\pm 0,8$ s/dobę), 3/4 s ($\pm 0,8$ s/dobę) i 1/2 s (obecnie głównie te ostatnie, niemal całkowicie zelektronizowane). Brak informacji co do kontynuowania produkcji zegarów wahadłowych przez firmę Siemens (RFN), natomiast w niedawnych katalogach tej firmy znaleźć można jeszcze zegary pierwotne i (według naszej terminologii) impulsatory synchroniczne.

Równocześnie wszystkie wymienione firmy produkują kwarcowe zegary pierwotne: LM Ericsson i J. Bosshard — zegary typu MOBATRON ($\pm 0,1$ s/dobę w zakresie temperatur $+15^{\circ}\dots+25^{\circ}\text{C}$); Telefonbau und Normalzeit — zegary serii K (1×10^{-6} czyli ok. 0,087 s/dobę w zakresie temperatur $+4^{\circ}\dots+36^{\circ}\text{C}$), notabene w obudowach identycznych z obudowami zegarów wahadłowych z wahadłem 1/2 s; Siemens — zegary przeznaczone do elektronicznych central czasu ($\pm 10^{-8}$ tj. $\pm 0,001$ s/dobę w zakresie temperatur $+17^{\circ}\dots+23^{\circ}\text{C}$). Telefonbau und Normalzeit przewiduje przy tym możliwość współpracy w jednym zespole (centrali czasu) zegara kwarcowego i synchronizowanego przezeń w sposób ciągły zegara wahadłowego.



Fot. 2. Kwarcowy zegar pierwotny
firmy Patek-Philippe (Szwajcaria)

Natomiast wyłącznie kwarcowe zegary pierwotne produkują obecnie firmy Patek — Philippe ($\pm 0,1$ s/dobę lub lepiej, w zależności od wykonania charakteryzującego się częstotliwością oscylatora kwarcowego) i Favag (Szwajcaria) — zegar typu CRISTALTIME ($\pm 2 \times 10^{-7}$ czyli ok. 0,017 s/dobę w temperaturze ok. $+20^{\circ}\text{C}$). Jest rzeczą interesującą, że około 10 lat temu firma Favag lansowała tworzenie zespołu składającego się z zegara kwarcowego jako zasadniczego i wahadłowego jako rezerwowego, celem zapewnienia zarówno wysokiej dokładności (zegar kwarcowy) jak i niezawodności (zegar wahadłowy). Wahadłowe zegary pierwotne z wahadłem 3/4 s można

znaleźć jeszcze w prospektach tej firmy z roku 1968. Zarówno Patek jak i Favag przewidują możliwość synchronizacji zegarów kwarcowych sygnałami radiostacji HBG.

*) Dotyczy to projektów i instalacji nowo uruchamianych. Duża żywotność zegarów wahadłowych i omówione wcześniej ich walory sprawiają, że w sieciach już istniejących wymiana zegarów wahadłowych na kwarcowe przebiega raczej wolno.

***) W większości materiałów firmowych wielkość określona zazwyczaj jako „dokładność” zegara nie jest ściśle zdefiniowana.

Wydaje się, że zastąpienie w s z y s t k i c h innych typów zegarów pierwotnych zegarami kwarcowymi jest kwestią niezbyt chyba odległego czasu, a decydujące znaczenie mają tu względy ekonomiczne (proporcja cen i wartości użytkowych różnego rodzaju zegarów pierwotnych).

Urządzenia translacyjno—kontrolne to przede wszystkim centrale zegarowe, w wielu przypadkach zintegrowane konstrukcyjnie z zegarami pierwotnymi (centrale czasu).

Centrale zegarowe

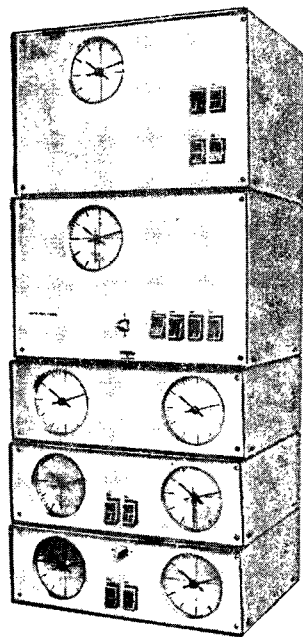
Do niedawna były to wyłącznie urządzenia przekaźnikowe, w których stosowano typowe przekaźniki teletechniczne lub też, przynajmniej w ważniejszych obwodach, przekaźniki o podwyższonych parametrach (niezawodność działania, obciążenie styków, żywotność). Jednocześnie dążono do wzbogacenia możliwości kontrolno—manipulacyjnych centrali (np. Siemens), wzbogacając jej wyposażenie i rozbudowując zespoły pomocnicze.

Wraz z rozwojem elektroniki, a ściślej z wprowadzeniem techniki tranzystorowej, pojawiły się pierwsze próby elektronizacji central zegarowych. Najpoważniejszą trudność stanowiły wymagania wyjściowe: duży pobór prądu przez urządzenia odbiorcze i indukcyjne obciążenie wyjść liniowych centrali, głównie zaś wpływ zakłóceń powstających na liniach na przebiegi w obwodach wewnętrznych centrali. Uzyskanie podzespołów o odpowiednich parametrach (moc, napięcie), dopasowanie układów i zabezpieczenie ich przed wpływami zakłóceń, pozwala wymienione trudności pokonać. Można stwierdzić, że całkowita elektronizacja central zegarowych wydaje się w perspektywie rzeczą pewną. Jednakże udoskonalenia w tradycyjnej i opanowanej technice przekaźnikowej (nowe typy przekaźników o lepszych właściwościach), pozwalają jeszcze ciągle na jej stosowanie z pełnym powodzeniem. Główną zaletą urządzeń przekaźnikowych jest pewność działania i nieczułość na zakłócenia.

Jednocześnie z elektronizacją central zegarowych zauważyć można tendencję do ograniczenia ich możliwości kontrolno—manipulacyjnych, co jednak wydaje się słuszne jedynie do pewnego poziomu, poniżej którego obsługa centrali staje się równie niewygodna jak przy układach nadmiernie skomplikowanych.

Jeżeli chodzi o formę konstrukcyjną, to dawniej budowano z zasady centrale zintegrowane, najczęściej z wbudowanymi zegarami pierwotnymi. W rezultacie były to urządzenia duże, sztywne i niewygodne do zainstalowania. Już nowsze typy central przekaźnikowych (z lat 1950—60) np. produkcji Siemens czy Ericssona, wykazują dążenie do podziału sztywnej struktury centrali na samodzielne zespoły (segmenty, bloki, panele). Rozwiązanie takie staje się regułą w centralach elektronicznych, przy czym zespoły tworzące centralę są wstawiane do wspólnej obudowy, lub też zestawiane luzem. Centrale przekaźnikowe są nadal z powodzeniem produkowane przez firmy L.M. Ericsson (współpracująca z wahadłowymi zegarami pierwotnymi o konstrukcji złożonej z poszczególnych elementów montowanych na wspólnej ramie) i Telefonbau und Normalzeit (współpracująca z zegarami kwarcowymi lub wahadłowymi z możliwością ich synchronizacji, o zestawianej konstrukcji wielosegmentowej).

Centrale zegarowe produkowane przez firmę Favag (wyposażone w jeden lub dwa) kwarcowe zegary pierwotne, konstrukcja



Fot. 3. Centrala zegarowa Cristaltime (produkcji F-My Favag, Szwajcaria), wyposażona w jeden kwarcowy zegar pierwotny

blokowa złożona z odrębnych zespołów) reprezentują układ mieszany elektroniczno—przełącznikowy, w którym zastosowano przełączniki rurkowe. Natomiast produkowane przez firmę Bosshard centrale zegarowe MOBATRONIC (wyposażone w jeden lub dwa zegary kwarcowe z możliwością synchronizacji zewnętrznej, konstrukcja panelowa we wspólnej obudowie) w zasadzie elektroniczne, zawierają jednak fragmenty przełącznikowe (na przełącznikach teletechnicznych).

Typowe centrale elektroniczne, wyposażone w jeden lub dwa kwarcowe zegary pierwotne, produkują firmy Patek — Philippe (centrala składająca się z funkcjonalnych elementów modułowych wstawianych do wspólnej obudowy) i Siemens (typowe podzespoły montowane w miarę potrzeby we wspólnej obudowie).

Translacje zegarowe

Translacje zegarowe, proste urządzenia służące do regeneracji sygnału na linii, celem zwiększenia zasięgu sieci, są wykonywane zarówno jako urządzenia przełącznikowe (np. Telefonbau und Normalzeit), jak też elektroniczne (Favag, Bosshard). Przy czym Favag wykorzystuje w tym celu typowe układy zespołu liniowego centrali, natomiast translacja firmy Bosshard — MOBALINE stanowi oryginalne, niespotykane dotychczas rozwiązanie, oparte na zasadzie akumulacji energii przedłużonego impulsu minutowego.

Również w przypadku translacji tendencja do wprowadzania techniki elektronicznej jest wyraźna. Pełne zastąpienie urządzeń przełącznikowych elektronicznymi, powinno nastąpić szybciej niż w przypadku central zegarowych, ze względu na tak istotne dla translacji zalety jak wysoka czułość i mały pobór mocy, a jednocześnie prostota układu, dzięki której są one w mniejszym stopniu niż centrale zegarowe wrażliwe na zakłócenia.

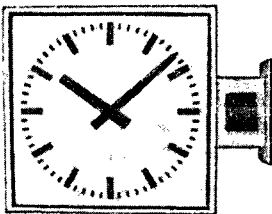
Urządzenia odbiorcze

W odniesieniu do urządzeń odbiorczych można zaobserwować stałe rozszerzanie asortymentu, w wyniku zwiększającego się szybko zakresu zastosowań informacji o czasie, w szczególności w dziedzinie automatyzacji. Szerokie perspektywy istnieją również dla urządzeń odbiorczych sieci czasu jako przy-stawek lub układów wejściowych różnych urządzeń niezegarowych (np. maszyn matematycznych). Można przy tym spodziewać się szerokiego rozwoju urządzeń sterowanych różnymi kodami cyfrowymi.

Konstrukcja urządzeń odbiorczych wynika z ich przeznaczenia, a wobec istniejącego zróżnicowania trudno mówić o zdecydowanych tendencjach w tym zakresie. Urządzenia o takim samym przeznaczeniu mają w zasadzie konstrukcję zbliżoną, niezależnie od producenta.

Można rozróżnić dwie podstawowe odmiany urządzeń odbiorczych:

- takie, których działanie polega na przemieszczeniu elementów ruchomych (wskazówki, koła cyfrowe, bębny napędowe taśmy itp.), mające postać silników skokowych, przy czym zmiany i udoskonalenia idą głównie w kierunku podniesienia sprawności napędu,
- takie, których działanie polega na włączaniu obwodów elektrycznych, mające postać układów przełącznikowych lub (obecnie coraz częściej) elektronicznych, przy tendencji do elektronicznej całościowej.



Fot. 4. Zewnętrzny zegar wtórny
f-my Moser—Baer AG (Szwajcaria)

6. Rozwój i wyniki dotychczasowych prac MERA—PIAP

W kraju, pierwsze poważniejsze prace z dziedziny sieci czasu podjęto w połowie lat pięćdziesiątych. Bezpośrednio po wojnie produkowano jedynie przestarzałe typy zegarów pierwotnych i wtórnych, wzorowanych na starych konstrukcjach niemieckich.

Podjęte w roku 1956 w Zakładzie Techniki Zegarowej ówczesnego Centralnego Laboratorium Optyki (później CLAPO) prace nad problematyką sieci czasu są od ponad dziesięciu lat kontynuowane w

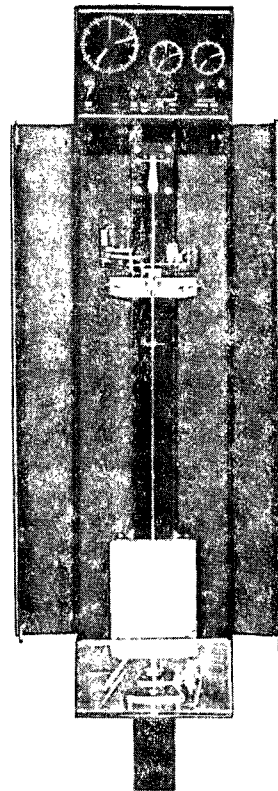
Zakładzie Pomiarów Czasu Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie. Początkowo były to tylko prace konstrukcyjne.

Około roku 1956 opracowano pierwszy, wysokiej klasy wahadłowy zegar pierwotny (typu ZP1), wzorowany na rozwiązaniu zegara systemu Synchronome będącego zegarem wtórnym w zespole Shorta. Zegar ZP1 wyposażony był w wahadło sekundy z mechanicznie wyzwalanym napędem grawitacyjnym bezpośrednim. Wahadło to uruchamiało mechanicznie styk nadający minutowe impulsy sterujące. Zegar ZP1 o prostej konstrukcji i stosunkowo wysokiej dokładności, zapoczątkował budowę serii coraz doskonalszych modeli: ZP1, ZP2, ZP3 i ZP4.

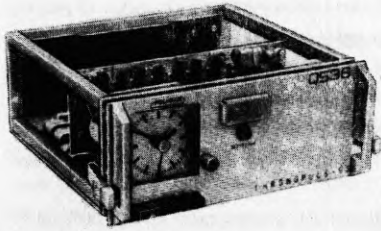
Ulepszenia konstrukcyjne szły w dwóch kierunkach: funkcjonalnym (rozwiązania konstrukcyjne i wyposażenie ułatwiające eksploatację zegara) i metrologicznym (uniezależnienie wahadła od czynników zakłócających jego pracę). Zegar typu ZP3 był produkowany seryjnie w latach 1963-1969. Ostatnim zegarem tej serii był zegar typu ZP4 Magnechron, opracowany w Zakładzie Pomiarów Czasu MERA-PIAP w 1969 r. Był on wyposażony w wahadło sekundy o dobroci $2,5 \times 10^4$, z kompensacją temperaturową systemu Riefler'a, włączające bezdotykowo (magnetycznie) styki hermetyczne. Sygnały sterujące sekundy i minutowe były kształtowane przez wyodrębniony zespół elektroniczny i wysyłane przez przekaźnikowe zespoły wyjściowe. System napędowy w możliwie wysokim stopniu odciążał wahadło, którego praca ograniczała się do wyzwalania raz na minutę napędowego ramienia grawitacyjnego. Przeprowadzone badania wykazały uchybienie standardowe zegara ZP4 w granicach $0,05 \text{ s/d}^2$. Elektromagnetyczny synchronizator wahadła, stanowiący wyposażenie dodatkowe, umożliwiał ponadto uzyskanie wysokiej zgodności dwóch zegarów współpracujących w jednym zespole centrali czasu (co było często stosowane w praktyce) i ewentualną synchronizację zegara ZP4 przez generator wyższego stopnia. Zegar ZP4 Magnechron był produkowany seryjnie w latach 1971-72, przez Zakład Doświadczalny MERA-PIAP. Wobec szybkich postępów uzyskanych w zakresie konstrukcji kwarcowych zegarów pierwotnych, dalszych prac nad zegarami wahadłowymi zaniechano.

Prace nad konstrukcją kwarcowych zegarów pierwotnych podjęto w PIAP w 1966 r. Powstał wówczas pierwszy model zegara kwarcowego typu QS 1. Był on wyposażony w rezonator kwarcowy o częstotliwości 100 kHz, umieszczony w termostacie z nieciągłą regulacją temperatury. Podstawowymi elementami czynnymi układu były tranzystory, zmontowane na płytkach z obwodami drukowanymi. Wymiary gabarytowe tego zegara wynosiły $360 \times 360 \times 250 \text{ mm}$, a uzyskana stałość częstotliwości (krótkookresowa) 5×10^{-6} .

Dalsze prace konstrukcyjne (rok 1967 - model użytkowy QS2, rok 1969 - modele zegarów kwarcowych przystosowanych do pracy w okrętowych sieciach czasu: QM1 i QM2) doprowadziły do opracowania nowego, udoskonalonego typu kwarcowego zegara pierwotnego, w którym zastosowano najnowsze osiągnięcia z dziedziny elektroniki. Powstało przy tym kilka odmian rozwiązania podstawowego: QS3 (i jego pochodne) - zegar stacjonarny, przeznaczony wyłącznie do współpracy z centralą zegarową i QM3-zegar okrętowy (opracowane w r.1973) oraz QS4-zegar stacjonarny mogący samodzielnie sterować siecią czasu (opracowany w 1974 r.).



Fot. 5. Wahadłowy zegar pierwotny ZP4 Magnechron



Fot.6. Kwarcowy zegar pierwotny
Chronopuls QS36

Zegary te są wyposażone w rezonator kwarcowy o częstotliwości 2 MHz z beztermostatową kompensacją temperaturową. Stałość częstotliwości zegarów stacjonarnych wynosi 1×10^{-6} , a zegara okrętowego, ze względu na przewidywane gorsze warunki pracy, 5×10^{-6} . Ponadto zegary QS3 i QM3 zapewniają wzajemną synchronizację dwóch zegarów współpracujących z jedną centralą zegarową (ten sam układ może być wykorzystany dla synchronizacji tych zegarów przez generator nadrzędny).

W zegarach QS3 i QS4 oraz QM3 zastosowano układy scalone montowane na płytkach z obwodami drukowanymi. Wymiary gabarytowe zegarów QS3 i QM3 (budowanych jako typowe bloki centrali zegarowej) wynoszą 240 x 100 x 245 mm, a wymiary gabarytowe zegara

QS4, który stanowi urządzenie niezależne – 438 x 128 x 250 mm. Produkcję seryjną stacjonarnych zegarów pierwotnych prowadzi od 1974 r. Zakład Doświadczalny MERA–PIAP.

Pierwsze modele krajowych central zegarowych (CCN1, CCN2, CCN3 i PCN) zostały opracowane w latach 1958–59. Były to, jak wszystkie ówczesne rozwiązania, centrale przekaźnikowe o zróżnicowanym wyposażeniu i pojemności. Centrale CCN1 i CCN2 o konstrukcji panelowej stanowiły niejako pierwszą wersję wprowadzonych znacznie później central blokowych. Dalsze konstrukcje miały budowę zintegrowaną, najczęściej wówczas spotykaną. Trzeba jednak zaznaczyć, że w przeciwieństwie do wszystkich prawie ówczesnych rozwiązań, te i następne krajowe centrale przekaźnikowe nie były nigdy powiązane konstrukcyjnie z zegarami pierwotnymi. Zegary stanowiły niezależne jednostki konstrukcyjne co ułatwiało instalację zespołu, a w przypadku zegarów wahadłowych umożliwiało pełne wykorzystanie ich walorów metrologicznych, przez zapewnienie odpowiednich warunków pracy jak np. sztywność zawieszenia czy stałość temperatury. Anegdotycznym wręcz przykładem niedostrzegania szczególnych wymagań stawianych przez zegary wahadłowe może być rozwiązanie zastosowane w centrali zegarowej produkcji Siemens. Była ona wyposażona w dwa zegary pierwotne, których wysokiej klasy wahadła wisiały na desce przymocowanej do dalekiego od koniecznej sztywności stojaka centrali, ustawionego pośrodku pomieszczenia.

W pierwszych centralach zastosowano typowe przekaźniki telefoniczne krajowej produkcji wielkoseryjnej, typu A. W dalszych modelach wprowadzono w miarę uruchamiania produkcji przez przemysł krajowy, przekaźniki telefoniczne typ B1, C1 i C11.

W latach 1960–63 opracowano serię przekaźnikowych central zegarowych o zróżnicowanym wyposażeniu i pojemności (typy MC, MCR, PCR, SCR i ACR), z których MCR, PCR i SCR były produkowane seryjnie w latach 1963–69.

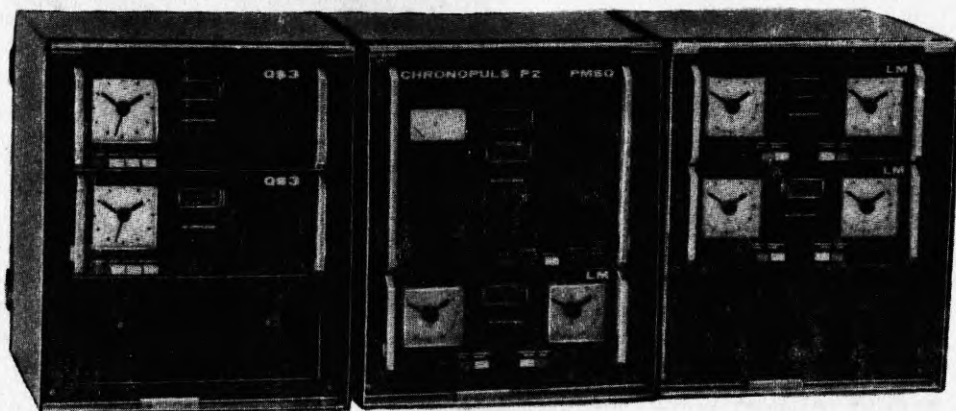
Podjęta w końcu lat sześćdziesiątych generalna modernizacja central zegarowych doprowadziła w latach 1970–73 do opracowania systemu przekaźnikowych central blokowych typu Chronopuls P1, a następnie Chronopuls P2. Te ostatnie są od 1973 roku produkowane seryjnie przez Zakłady Mechanizmów Precyzyjnych MERA–POLTIK.

Centrale zegarowe Chronopuls P2 składają się z bloków funkcjonalnych podstawowych (5 odmian)

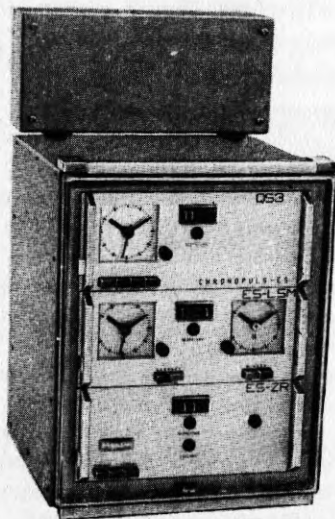


Fot.7. Kwarcowy zegar pierwotny Chronopuls QS42

i liniowych (3 odmiany), wstawianych do wspólnej obudowy. Daje to szerokie możliwości elastycznego kształtowania zespołu zgodnie z potrzebami użytkownika, przez odpowiedni dobór odmian i liczby bloków. W zależności od doboru bloków, centrale P2 mogą współpracować z jednym lub dwoma zegarami pierwotnymi: kwarcowymi, wahadłowymi lub dowolnymi, pracującymi niezależnie lub zsynchronizowanymi. Mogą one sterować od dwóch do kilkudziesięciu linii minutowych lub sekundowych.



Fot.8. Przekątnikowa blokowa centrala zegarowa Chronopuls P2 wyposażona w dwa kwarcowe zegary pierwotne Chronopuls QS3



Fot.9. Elektroniczna stacjonarna centrala zegarowa Chronopuls ES wyposażona w jeden kwarcowy zegar pierwotny Chronopuls QS3

Zgodnie z ogólną tendencją rozwoju konstrukcji urządzeń sieci czasu, podjęto w MERA-PIAP prace nad elektronicznymi centralami zegarowymi. W wyniku tych prac w latach 1972-1975 powstały dwie odmiany elektronicznych central zegarowych: stacjonarna - Chronopuls ES i okrętowa - Chronopuls EM. Obie są obecnie wdrażane do produkcji w Zakładach Mechanizmów Precyzyjnych MERA-POLTIK.

Centrala typu Chronopuls ES jest centralą blokową o konstrukcji mechanicznej i gabarytach zbliżonych do central przekątnikowych Chronopuls P2. Jest wyposażona w jeden lub dwa (zsynchronizowane) kwarcowe zegary pierwotne typu Chronopuls QS3. Podstawowymi elementami układu elektrycznego tej centrali są układy scalone i inne podzespoły półprzewodnikowe, zmontowane na płytkach z obwodami drukowanymi.

Centrala okrętowa Chronopuls EM wyposażona w zegar (lub dwa zegary) pierwotny Chronopuls QM3 różni się od centrali stacjonarnej jedynie szczegółami (kategoria klimatyczna, możliwość cofania wskazań zegarów wtórnych itp.).

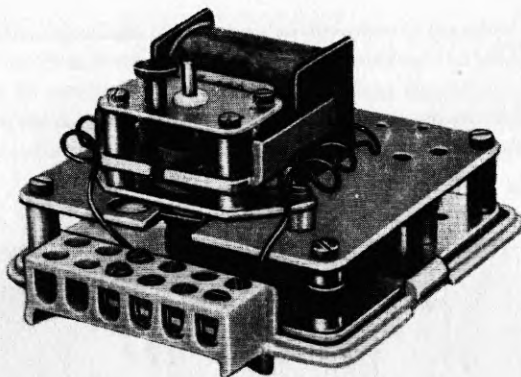
W dziedzinie urządzeń odbiorczych, badania podejmowane wcześniej, sporadycznie i bez poważniejszych wyników praktycznych, zostały usystematyzowane poczynając od roku 1967, kiedy to przystąpiono do prac nad konstrukcją nowych zegarów wtórnych stacjonarnych i okrętowych.

W latach 1969–72 opracowano w MERA–PIAP nowy, uniwersalny mechanizm wtórny typu Pulsar. Realizował on pierwotnie koncepcję napędu od wielobiegunowego wirnika będącego magnesem trwałym. Względy praktyczne spowodowały jednak konieczność częściowego odejścia od tej bardzo nowoczesnej konstrukcji, w zamian za uzyskanie innych, bardzo korzystnych właściwości. Seryjną produkcję mechanizmów Pulsar prowadzą od 1975 r. Zakłady Mechanizmów Precyzyjnych MERA–POLTIK. W oparciu o mechanizm Pulsar opracowano w 1974–75 r. konstrukcję szerokiego asortymentu zegarów wtórnych Chronopas zewnętrznych, wewnętrznych i okrętowych. Są one teraz wdrażane do produkcji seryjnej.

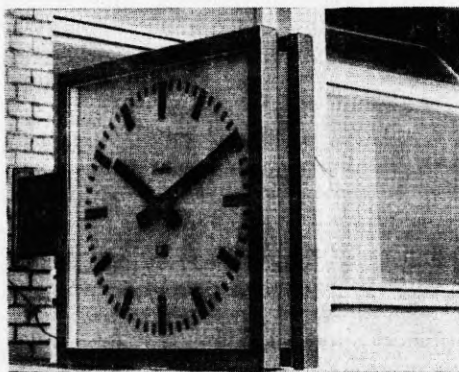
Elementy sieci czasu opracowane w MERA–PIAP wchodzą w skład Krajowego Systemu Automatyki i Pomiarów POLMATIK jako podsystem METROCHRON obejmujący urządzenia do dystrybucji skali i rachuby czasu. Równocześnie PIAP nawiązuje współpracę z szeregiem biur projektowych (Biura Studiów i Projektów Łączności, Biura Projektów Kolejowych, Elektroprojekt i inne), opracowujących projekty instalacji sieci w zakładach przemysłowych i instytucjach, a także z inwestorami i użytkownikami sieci czasu na terenie całego kraju.

Zebrane w trakcie wszystkich tych prac doświadczenia w zakresie konstrukcji urządzeń, projektowania układów i praktycznych zagadnień eksploatacji, stały się podstawą do podjęcia prac w zakresie ogólniejszym. W połowie lat sześćdziesiątych zapoczątkowano prace w dziedzinie systematyki sieci

czasu i ich elementów. Opracowane zostały pierwsze zasady klasyfikacji sieci czasu i podstawy krajowego systemu dystrybucji czasu, który został następnie znormalizowany jako Elektryczny System Impulsowy Dystrybucji Czasu (IDC). W następnej kolejności (lata 1971–75) ustanowiono kilka norm z zakresu projektowania i budowy sieci czasu oraz ich podstawowych elementów (generatory sygnałów, urządzenia transcyjno–kontrolne, urządzenia odbiorcze). Wymagało to dokonania klasyfikacji sieci czasu i ich elementów, ustalenia jednolitej terminologii, zdefiniowania pojęć. Prace w tym zakresie są kontynuowane. Ponadto w 1973 r. wydany został poradnik „Projektowania sieci czasu”, w którym omówiono układowo – projektowe problemy sieci.



Fot.10. Mechanizm wtórny Pulsar 2



Fot.11. Dwustronny zewnętrzny zegar wtórny Chronopas ZSU

Podjęcie omówionych wyżej prac o ogólniejszym zakresie zapoczątkowało przechodzenie na następny, wyższy stopień, który stanowi etap pośredni pomiędzy opracowaniami praktyczno-konstrukcyjnymi, a rozważaniami czysto teoretycznymi. Obejmuje on z jednej strony uogólnienia wniosków wynikających z doświadczeń praktycznych, z drugiej adaptację rezultatów prac teoretycznych do konkretnych problemów praktycznych i określonych warunków techniczno-eksploatacyjnych.

Dalszy rozwój prac z tego zakresu, prowadzonych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP może i powinien przyczynić się do wypełnienia luki zarysowującej się, jak zaznaczono na wstępie, pomiędzy współczesnymi pracami teoretycznymi, a powszechną działalnością praktyczną.

Literatura

- [1] Bananomi J., Kartaschoff P.: Le nouveau service horaire HBG sur 75 kHz. Bulletin Annuel de la Société Suisse de Chronometrie. 1966 Vol. V.
- [2] Cresceto G. i in.: Service de distribution de l'heure et dispositif pour la remise a l'heure automatique des horloges. Actes VII Congres International de Chronometrie. Lausanne 1964.
- [3] Leiner G.: Doppelseitige Stromstoss - Fernsteuerung von Nebenuhren auf abgeriegelten Kabelleitungen mit Gleichlaufhaltung der steuerenden Hauptuhren. Signal und Draht 1-2/1958.
- [4] Leiner G.: Möglichkeit der Gleichlaufhaltung von Hauptuhren. Signal und Draht 10/1959.
- [5] Leiner G.: Die Elektrischen Uhrenlagen der Deutschen Bundesbahn. Berichtsbuch des VI Internationalen Kongresse für Chronometrie. München 1959.
- [6] Leitenlanger W.: Die Uhrenlagen der Deutschen Bundesbahn. Elsners Taschenbuch für den fernmeldetechnischer Eisenbahndienst 1959.
- [7] Markus N.: Moderne Zeitdienst-Anlagen für Verkehrsunternehmen. Nachricht der TuN 69/1969.
- [8] Mrugalski Z.: Mechanizmy zegarowe. Warszawa 1972, WNT.
- [9] Nezik D., Rögner R.: Die kleine TN-Quarzhauptuhr. Nachrichten der TuN 68/1968.
- [10] Problemy telekomunikacji. Współczesna służba czasu i częstotliwości wzorcowych. Praca zbiorowa. Warszawa 1962, WKiŁ.
- [11] Riesen H.: Der elektronische Uhrensteuerung MOBATRONIC. Schweizer Maschinenmarkt 38.
- [12] Schindler G.: Fortschritte der Elektronik in der Uhrentechnik. Die Uhr 12/1966.
- [13] Schindler G.: Elektrouhrentechnik (Elektrische Uhren- und Zeitdienstanlagen). Verlag der Neuen Uhrmacher-Zeitung, Ulm (Donau) 1968.
- [14] Sidorov N.V.: Eksploatacija elektročasovych ustrojstv. Izdat. Litieratury po Stroitelstvu, Moskva 1969.

- [15] Suchocki E.: Zadania i systemy dystrybucji czasu. Biuletyn PIAP 3–5/1967.
- [16] Suchocki E., Zakrzewski A.: Projektowanie sieci czasu. Wyd.MERA–PIAP 1973.
- [17] Špolanskij V.A.: Elektročasovyje sistiemy. Mašinostrojenije, Moskva 1968.
- [18] Špolanskij V.A.: Chronometrija. Masinostrojenije, Moskva 1974.
- [19] Trojanowskij V.V.: Elektročasovyje sistiemy i mechanizmy. Gosudarstvennoje naučno–techničeskoje izdatielstwo mašinostroitelnoj literatury, Moskva 1951.
- [20] Tryliński W.: Zegary i zegarki mechaniczne oraz urządzenia zegarowe elektromechaniczne. Warszawa 1960. Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [21] Zakrzewski A.: Analiza stanu wyposażenia PKP w urządzenia do pomiaru i dystrybucji czasu na tle światowych tendencji rozwojowych. Sprawozdanie PIAP nr 893. Warszawa 1971.