

mgr inż. Ryszard Jabłoński  
Przemysłowy Instytut  
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP  
W a r s z a w a

## MASZYNA ANALOGOWA WAT 1001

### Krótki opis techniczny

WAT 1001 jest maszyną analogową ze sterowaniem logicznym, przeznaczoną do symulacji różnorodnych procesów i systemów dynamicznych, opisywanych równaniami algebraicznymi, różniczkowymi zwyczajnymi, liniowymi i nieliniowymi o stałych i zmiennych współczynnikach, z warunkami początkowymi i brzegowymi, równaniami stochastycznymi oraz pewnymi klasami równań różniczkowych cząstkowych. Przy jej pomocy można także rozwiązywać równania całkowe oraz optymalizować struktury wieloparametrowe. WAT 1001 realizuje liczenie iteracyjne, przy czym dopuszczalna szybkość iteracji wynosi 1000 iteracji/s. Przedział liczenia analogowego wynosi  $\pm 100$  V.

Maszyna WAT 1001 jest wyposażona w człony operacyjne liniowe, nieliniowe oraz logiczny system sterowania.

Część liniową maszyny stanowi:

- 36 integratorów (sumatorów) sterowanych,
- 12 sumatorów niesterowanych,
- 18 pamięci dynamicznych lub 18 sumatorów niesterowanych (zamiennie).

Część nieliniowa ma 54 miejsca operacyjne uniwersalne, w których można umieszczać różne człony nieliniowe.

W skład członów nieliniowych wchodzi:

- 20 kwadratorów,
- 10 generatorów funkcji trygonometrycznych,
- 3 generatory funkcji sześciennej,
- 10 bloków wartości bezwzględnej.

- 10 ograniczników amplitudy sygnału wyjściowego,
- 10 ograniczników czułości,
- 6 uniwersalnych dziesięcioodcinkowych generatorów funkcji jednej zmiennej,
- 1 ośmiokanałowy generator zmiennej losowej o kanałach nieskorelowanych.

Generatory uniwersalne i generatory zmiennej losowej w odróżnieniu od pozostałych członów nieliniowych mają w maszynie stałe miejsca.

Maszyna jest wyposażona również w:

- 140 potencjometrów dziesięcioobrotowych liniowych (liniowość 0,2%),
- 24 komparatory trzywejściowe o czułości 20 mV i czasie porównania  $< 2 \mu\text{s}$ ,
- 42 przełączniki cyfrowo-analogowe (kontaktronowe) o czasie przełączania  $\leq 4 \text{ ms}$  i dopuszczalnym napięciu przełączanym  $\pm 100 \text{ V}$  oraz prądzie 0,1 A,
- 20 serwopotencjometrów o czasie ustawiania  $\leq 10 \text{ s}$  i dokładności 0,1%.

Wprowadzenie programów odbywa się poprzez tablice połączeń, tzw. kros analogowy (do łączenia członów analogowych) i kros cyfrowy (do łączenia elementów logicznych i doprowadzania oraz wyprowadzania logicznych sygnałów sterujących). Tablice te są wymienne i umożliwiają szybką zmianę programów. Instytut obecnie dysponuje siedmioma kompletami tablic, a w przyszłości będzie miał ich dziesięć.

Maszyna jest wyposażona w dwa rodzaje tranzystorowych 100-woltowych wzmacniaczy operacyjnych: stabilizowane TWO-1050 i niestabilizowane TWO-1055. Pierwsze z nich współpracują z częścią liniową, drugie z częścią nieliniową.

#### Podstawowe parametry wzmacniaczy operacyjnych

	TWO-1050	TWO-1055
1. Pasmo przenoszenia pełnego sygnału $100 \sin 2\pi f t$ bez zniekształceń nieliniowych przy obciążeniu rezystancyjnym $4 \text{ k}\Omega$	0...60 kHz	0...60 kHz
2. Zakres liniowości	$\pm 110 \text{ V}$	$\pm 110 \text{ V}$
3. Prąd wejściowy	$10^{-10} \text{ A}$	$5 \cdot 10^{-8} \text{ A}$
4. Rezystancja wejściowa	$5 \cdot 10^6 \Omega$	$0,8 \cdot 10^6 \Omega$

	TWO-1050	TWO-1055
5. Wzmocnienie w pętli otwartej	$8 \cdot 10^7$ V/V	$1,5 \cdot 10^5$ V/V
6. Częstotliwość graniczna, przy której wzmocnienie w pętli otwartej wynosi 1	8...10 MHz	8 MHz
7. Płynięcie zera w odniesieniu do wejścia w stałej temperaturze 21°C	30 $\mu$ V/8 h	300 $\mu$ V/8 h
8. Płynięcie zera w odniesieniu do wejścia w zakresie temperatur -10...+65°C	1 $\mu$ V/°C	30 $\mu$ V/°C
9. Szybkość zmian napięcia wyjściowego (slow rate)	15 V/ $\mu$ s	10 V/ $\mu$ s
10. Zabezpieczenie przeciwzwarciowe wyjścia	posiada	posiada

W rozwiązaniach konstrukcyjnych zastosowano obwody scalone liniowe i cyfrowe, tranzystory i diody krzemowe, szybkie przełączniki elektroniczne, wysoko stabilne precyzyjne (0,03%) rezystory i kondensatory.

Dzięki wykorzystaniu tranzystorów unipolarnych typu FET czas przełączania kluczy sterujących w integratorach i pamięciach jest mniejszy niż 1,5  $\mu$ s, przy czym rezystancja włączenia  $\leq 25 \Omega$ , ładunek przy przełączeniu  $\leq 100$  pC.

Dokładność statyczna członów liniowych wynosi 0,05%, członów nieliniowych 0,2%.

W celu zapewnienia w integratorach dużej szybkości śledzenia warunku początkowego, zastosowano wzmacniacze prądowe w postaci liniowych układów scalonych. Dzięki temu uzyskano szybkość śledzenia warunku początkowego:

1,4 V/ms przy pojemności  $C = 1 \mu$ F

14 V/ms przy pojemności  $C = 0,1 \mu$ F

140 V/ms przy pojemności  $C = 0,01 \mu$ F

1,4 V/ $\mu$ s przy pojemności  $C = 0,001 \mu$ F

Płynięcie sygnału wyjściowego w stanie "pamiętanie" wynosi dla integratorów 0,1 mV/s, przy pojemności 1  $\mu$ F. Przy zmianie pojemności C w obwodzie

sprężenia zwrotnego kolejno na  $0,1 \mu\text{F}$ ,  $0,01 \mu\text{F}$ ,  $0,001 \mu\text{F}$  podany wyżej parametr rośnie odpowiednio dziesięć razy, sto razy i tysiąc razy. W zmodyfikowanych pamięciach dynamicznych szybkość śledzenia sygnału wejściowego wynosi:

$6 \text{ V}/\mu\text{s}$  przy pojemności  $C = 5,1 \text{ nF}$

$0,2 \text{ V}/\mu\text{s}$  przy pojemności  $C = (0,22 + 0,051) \mu\text{F}$

Płynięcie sygnału wyjściowego w stanie "pamiętanie" wynosi:

$150 \text{ mV}/\text{s}$  przy pojemności  $C = 5,1 \text{ nF}$

$0,5 \text{ mV}/\text{s}$  przy pojemności  $C = (0,22 + 0,051) \mu\text{F}$

Logiczny system sterowania WAT 1001 zapewnia sterowanie operacjami i programem liczenia. Do jego budowy użyto układów scalonych głównie wysokoprogramowych (napięcie zasilające  $+15 \text{ V}$ ).

Do sterowania pracą maszyny służy Centralny Układ Sterowania (CUS) i tzw. logika krosowa. CUS ma klawiaturę pozwalającą na ustawienie czasu pojedynczego cyklu  $T_C$  przy pracy powtarzalnej. Czas podstawowy  $T_p = 0,001 T_C$  uzyskuje się przez dzielnik cyfrowy ze stabilizowanego generatora kwarcowego o częstotliwości  $1 \text{ MHz}$ . Czas  $T_p$  może być zwiększany jeden raz, dziesięć razy, sto razy, tysiąc razy poprzez zmianę skali czasu.

CUS wypracowuje sygnały sterujące  $a_s$  i  $b_s$ , które są wyprowadzone na kros cyfrowy i najczęściej używane do sterowania bloków sumująco-całkujących oraz do sterowania pamięci dynamicznych wtedy, gdy trzeba zapamiętać wartości sygnałów na początku lub końcu czasu liczenia  $T_L$ . Czas cyklu  $T_C$  jest sumą czasu liczenia  $T_L$  i czasu spoczynku  $T_S$ . Czas  $T_L$  jest ustawiany przez odpowiednią klawiaturę. Do sterowania pamięci w programach iteracyjnych najczęściej stosuje się sygnały CUS oznaczone na krosie cyfrowym jako  $a_1$ ,  $b_1$ , opóźnione względem początku czasu liczenia  $T_L$  o czas  $T_1$ . Istnieje także możliwość realizacji sygnałów ze scanem oznaczonych na krosie cyfrowym jako  $a_2$ ,  $b_2$  i wykorzystywanych np. do automatycznej zmiany parametrów w kolejnych cyklach liczenia.

Sygnał oznaczony jako "C", który w czasie "stopu" jest zerem logicznym, a przy liczeniu jedynką logiczną, służy do wprowadzania warunków początkowych.

Sposoby pracy maszyny i operacje realizowane przez CUS są następujące:

- a) liczenie jednocyklowe,
- b) liczenie powtarzalne,
- c) liczenie iteracyjne (wykorzystanie sygnałów  $a_1, b_1, a_2, b_2$  oraz logiki krosowej),
- d) liczenie ciągle,
- e) zatrzymanie liczenia,
- f) licz dalej,
- g) stop.

Sterowanie skalą czasu może odbywać się ręcznie z klawiatury lub automatycznie przez program z krosu cyfrowego. Przy sterowaniu z krosu każdy rozkaz jest realizowany w chwili zmiany sygnału logicznego z "1" na "0" (zbochem opadającym). Maszyna realizuje zawsze ostatni rozkaz bez względu na to czy jest podany z klawiatury, czy też z krosu. Dzięki wyposażeniu w wymienne karty logiki krosowej, opartej o układy scalone TTL firmy Motorola seria MC 660, można realizować różnorodne funkcje logiczne, co znacznie rozszerza zakres możliwości sterowania maszyną w procesach obliczeń.

W skład kart logiki krosowej wchodzi:

- 8 NAND-ów z ekspanderem (4 wejścia + 6 wejść ekspanderowych),
- 28 NAND-ów czterowejściowych,
- 30 NAND-ów dwuwejściowych,
- 7 NAND-ów mocy,
- 63 inwertory,
- 28 przerzutników JKT,
- 13 liczników BCD,
- 24 monoflipy,

Elastyczny system sterowania pozwala na pełną automatyzację procesu liczenia i rejestracji wyników. Urządzeniami wyjściowymi maszyny WAT 1001 są: woltomierz pięciocyfrowy, monitor ekranowy dwustrumieniowy, rejestrator XYt firmy Bryans sterowany z maszyny. Rejestrator ten został ostatnio wyposażony w foto-elektryczne urządzenie śledzące, umożliwiające wprowadzanie do badanego modelu dowolnych przebiegów zarejestrowanych w obiekcie rzeczywistym.

## Literatura

- [1] Analogowo-hybrydowa maszyna WAT 1001. Opracowanie WAT 1971 r. (dokumentacja).
- [2] Jabłoński R., Kapica J.: Niektóre problemy kluczenia elektronicznego integratorami analogowymi. Naukowe problemy maszyn matematycznych, PWN, Warszawa 1970.