1967

PEŁNOMOCNIK RZĄDU DO SPRAW ELEKTRONICZNEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ

Prace Instytutu Maszyn Matematycznych

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

P. 2225 | 66 | 67

Tom IV Praca B 18 (31)

ELEKTRONICZNY GENERATOR LICZB PRZYPADKOWYCH DO WSPÓŁPRACY Z MASZYNĄ CYFROWĄ ZAM-2

Janusz ŁĄSKI
Tadeusz BARTKOWSKI

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH

P R A C E
Instytutu Maszyn Matematycznych

Tom IV Praca B 18/31/

ELEKTRONICZNY GENERATOR LICZB PRZYPADKOWYCH DO WSPÓŁPRACY Z MASZYNĄ CYFROWĄ ZAM-2

Janusz ŁĄSKI
Tadeusz BARTKOWSKI

Warszawa 1967

Copyright © 1967 - by Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa
Poland

Wszelkie prawa zastrzeżone

P.W 283/67

KOMITET REDAKCYJNY

Leon ŁUKASZEWICZ /redaktor/, Antoni MAZURKIEWICZ,
Tomasz PIETRZYKOWSKI /z-ca redaktora/, Dorota PRAWDZIC,
Zdzisław WRZESZCZ.
Redaktora działowy: Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI.
Sekretarz redakcji: Romana NITKOWSKA.
Adres redakcji: Warszawa, ul. Koszykowa 79, tel. 28-37-29.

Instytut Maszyn Matematycznych
Praca B 18/31/
© 1967.03

621.373.43:681.326:681.3.06

ELEKTRONICZNY GENERATOR LICZB PRZYPADKOWYCH DO WSPÓŁPRACY Z MASZYNĄ CYFROWĄ ZAM-2

Janusz ŁĄSKI
Tadeusz BARTKOWSKI

Pracę złożono 15.12.1965 r.

Omówiono generację liczb losowych na maszynie ZAM-2 Beta, za pomocą układu opartego na zjawiskach szumowych w lampie jarzeniowej. Z ciągu binarnego o prawdopodobieństwie wystąpienia zera i jedynki równym i wynoszącym 1/2 formuje się 36-cio bitowe liczby losowe o rozkładzie równomiernym w przedziale /-1, +1/.

1. WSTĘP

Szereg najnowszych problemów cyfrowej techniki obliczeniowej, związanych jest z zastosowaniem metod statystycznych. W tym stosunkowo obszernym dziale można wyodrębnić szereg zagadnień wiodących, takich jak opracowanie najlepszych, w sensie pewnych kryteriów metod obliczeń /np. zbieżność, minimalna dyspersja wyników, szybkość/, oraz metody otrzymywania liczb losowych o znanym rozkładzie.

Drugi z wymienionych problemów można rozwiązać na drodze układowej lub też poprzez specjalny program generujący na maszynach cyfrowych.

Jedną z szeroko rozpowszechnionych w tej dziedzinie metod jest stosowanie wzoru rekurencyjnego, który pozwala na obliczanie kolejnych liczb pseudolosowych [1], [2].

Rzecz oczywista, że z punktu widzenia odbiorcy tak generowane

liczby mają wszelkie cechy wielkości przypadkowych, jednak od strony nadawczej są ściśle zdeterminowane.

Z drugiej strony stosowanie programu generującego w maszynach szeregowych napotyka trudności związane z czasem wykonywania podstawowych operacji, wykorzystywanych przy jego opracowywaniu ; mnożenie, dzielenie, koniunkcja, alternatywa czy podnoszenie do potęgi trwa w takich maszynach znacznie dłużej od dodawania, czy odejmowania. Wiadomo również, że stosowanie metod statystycznych ma sens jedynie w przypadku dużej ilości losowań, kiedy wielkości charakterystyczne odpowiednio zdefiniowanej zmiennej losowej możemy zastąpić ich estymatorami.

Wyżej opisane trudności zmuszają do poszukiwania innych źródeł liczb losowych opartych na zjawiskach fizycznych. Dodatkową zaletą takich źródeł jest możliwość modelowania układów regulacji automatycznej, gdzie bardzo pożądane jest pobudzenie modelowanego układu szumem występującym w rzeczywistych układach fizycznych [4]. Rolę pobudzenia o zadanych parametrach statystycznych spełniają wówczas liczby przypadkowe.

Od generatora liczb przypadkowych wymagana jest:
a/ stacjonarność generowanych ciągów liczbowych
b/ określony rozkład prawdopodobieństwa
c/ określona funkcja korelacji.

Najwygodniej jest posiadać źródło generujące liczby o równomiernej gęstości rozkładu prawdopodobieństwa. Mając liczby losowe o rozkładzie równomiernym można uzyskiwać rozkłady dowolne stosując pewne operacje matematyczne, lub też na drodze układowej, dokonując przekształcenia wejściowych ciągów liczbowych w ciągi reprezentujące żądany rozkład [5].

Jeśli współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi elementami ciągu są równe zeru, to liczby reprezentujące ten ciąg można uważać za wynik kwantyzacji na skali amplitudy i czasu białego szumu [6].

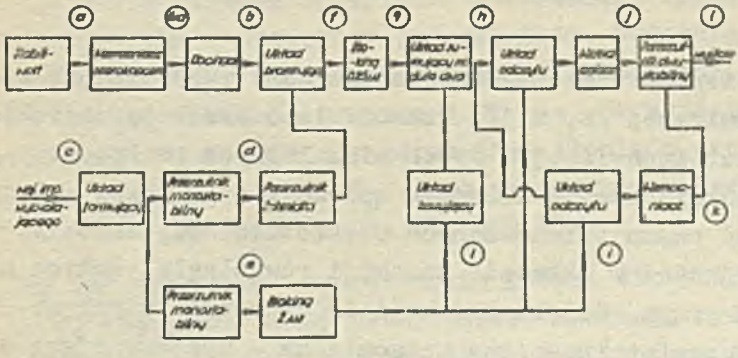
Żądaną funkcję korelacji liczb przypadkowych uzyskuje się przez odpowiednie operacje liniowe o algorytmie określonym przez funkcję przenoszenia filtru cyfrowego [7].

Treścią niniejszego artykułu jest opis konkretnej realizacji elektronicznego generatora liczb przypadkowych. Urządzenie składa się z generatora sygnału pseudotelegraficznego dostarczającego ciągi zero-jedynkowe z prawdopodobieństwem wystąpienia zera i jedynki równym i wynoszącym $\frac{1}{2}$, oraz z układu formującego te ciągi w długie słowa 36-cio bitowe i wprowadzającego je do pamięci wewnętrznej maszyny ZAM-2.

W części pierwszej podano budowę i zasadę działania generatora sygnału pseudotelegraficznego, w drugiej - opis układu formującego, a w trzeciej - wyniki badań parametrów statystycznych otrzymanych liczb.

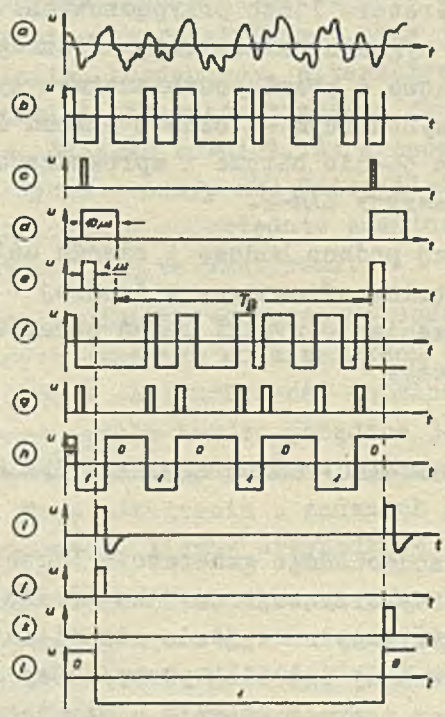
2. OPIS GENERATORA SYGNAŁU PSEUDOTELEGRAFICZNEGO

Schemat blokowy zbudowanego generatora liczb przypadkowych pokazano na rys. 1. Wykorzystuje on jako źródło przebiegów przypadkowych szum otrzymywany na wyjściu stabilizatora jarzeniowego. Ciągły szerokopasmowy przebieg przypadkowy /przebieg "a" rys. 2/ jest podawany poprzez wtórnik separujący na wzmacniacz szerokopasmowy o wzmocnieniu 90 db i pasmie przepuszczania



Rys. 1. Schemat blokowy generatora przypadkowych impulsów zero-jedynkowych.

350 kHz - 2 MHz. Żądane wzmocnienie uzyskano za pomocą trójstopniowego wzmacniacza z niewielkim ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Pracuje on na tranzystorach OC 169 w układzie ze wspólnym emiterem.



Rys. 2. Wykresy przebiegów napięciowych w generatorze impulsów przypadkowych.

Każdy stopień wzmacniacza posiada duży współczynnik stabilności termicznej /S_i = 3/. Przewidziano korekcję charakterystyki częstotliwościowej w dwóch niezależnych punktach: zmiana indukcyjności w układzie korekcji szeregowej wpływa na górną część pasma przenoszonych częstotliwości, natomiast zmiana indukcyjności w układzie korekcji równoległej wpływa na dolną granicę pasma. Dzięki korekcji indukcyjnej uzyskano charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza - wystarczającą do przeniesienia widma szumów. Dolną granicę częstotliwości wzmacniacza

/350 kHz/ dobrano względnie dużą, aby uzyskać większą szybkość liczenia oraz wyeliminować zakłócenia występujące w tym paśmie, spowodowane przez harmoniczne napięcia zasilające oraz radiostacje o dużym natężeniu pola. Wzmocniony przebieg szumowy o wartości skutecznej około 1,5 V poprzez wtórnik separujący podano na obcinacz. Obcinacz składa się z dwóch przerzutników Schmidta. Pierwszy przerzutnik Schmidta posiada bardzo małą pętlę histerezy /U_h = 0,1 V/, drugi o dużej pętli histerezy /U_h = 0,5 V/, przeprowadza całkowite obcinanie amplitudowe przebiegu przypadkowego. Na jego wyjściu otrzymuje się przebieg prostokątny /rys. 2b/ o przypadkowych czasach trwania impulsów odpowiadających odstępom pomiędzy przejściami przez zero pierwotnego przebiegu przypadkowego.

Wzmocniony i ograniczony przebieg szumowy podaje się następnie na układ bramkujący, na którego wyjściu otrzymuje się sygnał tylko w czasie trwania bramki równym T_B /rys. 2f/. Wielkość T_B określona jest przez częstotliwość zewnętrznych impulsów wyzwalających. Odstępy czasowe między tymi ostatnimi, zmniejszone o 10μ sekundowy czas martwy /w czasie którego dokonuje się odczytu i kasowania/ stanowią rzeczywisty czas trwania T_B bramki liczącej. Pożądany czas trwania bramki uzyskuje się podając na układ bramkujący impulsy o polaryzacji dodatniej i szerokości 10 μs /rys. 2d/.

Układ zrealizowano w postaci szeregowego połączenia dwóch tranzystorów; impulsy na wyjściu otrzymujemy tylko wtedy, gdy wysterowano oba tranzystory jednocześnie. Dodatnie zbocza impulsów wyjściowych wyzwalają generator samodławny, który wytwarza impulsy o czasie trwania 0,25 μs. Na wyjściu generatora samodławnego otrzymuje się zatem ciąg impulsów, których ilość w czasie trwania bramki T_B jest przypadkowa. Średnia częstość generowanych impulsów wynosi ok. 600 kHz.

Impulsy generatora samodławnego podaje się poprzez wzmacniacz na układ sumujący, który przeprowadza operację sumowania impulsów zawartych w bramce według zasady modulo dwa, dając w wyniku ostatnią pozycję zapisanej w systemie binarnym liczby impulsów

przypadkowych w czasie trwania bramki T_B. Stan układu sumującego pod koniec bramki zależy innymi słowy tylko od tego, czy ilość impulsów zawartych w bramce była parzysta czy nieparzysta.

Prawdopodobieństwo obu tych zdarzeń wynosi $\frac{1}{2} \pm \varepsilon$, gdzie ε jest odchyłką spowodowaną stosunkowo niewielką ilością impulsów w bramce /od 60 do 100/ oraz asymetrią układu liczącego mod. 2 /wynikającą z różnej czułości obu połówek przerzutnika/. Teoretyczna ocena tej odchyłki jest rzeczą bardzo trudną, toteż można ją szacować tylko na drodze eksperymentalnej. Doświadczenie wykazuje, że $|\varepsilon| < 10^{-2}$. Układ sumujący zrealizowano w postaci przerzutnika o sprzężeniu potencjometrycznym pomiędzy kolektorem i bazą. Wyzwalanie odbywa się impulsami dodatnimi podanymi na bazy tranzystorów poprzez układy różniczkujące oraz diody obcinające. W celu zwiększenia szybkości liczenia zastosowano dodatkowe dwa wtórniki emiterowe, przyśpieszające rozładowanie pojemności obwodów różniczkujących. Czas rozdzielczy układu sumującego wynosi około 0,2 μs.

Czas martwy /10 μs/ pomiędzy dwoma kolejnymi bramkami wykorzystuje się do kasowania i odczytu stanu układu liczącego. W tym celu wytwarza się w generatorze samodławnym impuls czytający /rys. 2i/ o czasie trwania 2 μs, opóźniony względem końca bramki o 4 μs. Czteromikrosekundowe opóźnienie uzyskuje się za pomocą przerzutnika jednostabilnego wyzwalanego przez impulsy zegarowe. Tylne zbocze impulsu czterosekundowego wyzwala generator samodławny, którego impulsy podaje się na wejścia dwu układów odczytu. Drugie wejścia układów odczytu są podłączone do obu wyjść układu sumującego /rys. 1 bloki h i i/. W zależności od stanu końcowego układu sumującego w momencie podania impulsu czytającego przewodzić będzie zawsze tylko jeden z układów czytających. Na wyjściu pierwszego układu czytającego otrzymuje się impuls o czasie trwania 2 μs w momencie czytania w przypadku, gdy układ liczący zatrzymał się w stanie "1" /rys. 2j/, zaś impuls na wyjściu drugiego układu czytającego otrzymuje się tylko wtedy, gdy układ liczący zatrzymał się w stanie "0"

/rys. 2k/. Impulsy z obu układów czytających podaje się na dwa impulsowe wzmacniacze formujące. Na wyjściu obu wzmacniaczy otrzymuje się zatem binarne impulsy przypadkowe o czasie trwania 2 μs i częstotliwości powtarzania określonej przez częstotliwość powtarzania impulsów wyzwalających. Wobec tego, że impulsy na wyjściach obu układów odczytu wykluczają się nawzajem, stanowią one wzajemnie zanegowane kanały z prawdopodobieństwem pojawienia się impulsu na wyjściu każdego z nich bliskim 0.5.

Binarne impulsy przypadkowe "0" i "1" podaje się z kolei na przerzutnik dwustabilny o wejściach wyzwalających rozdzielonych. Na wyjściu przerzutnika otrzymuje się przebieg prostokątny o przypadkowym czasie trwania impulsów /rys. 2i/, będącym wielokrotnością okresu powtarzania impulsów wyzwalających podanych z maszyny cyfrowej ZAM-2.

Wytworzony w ten sposób przypadkowy przebieg prostokątny podaje się z kolei do maszyny.

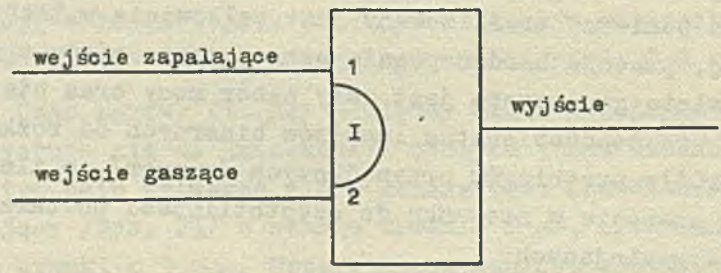
Zbudowany generator impulsów przypadkowych, mimo dużego stopnia skomplikowania ponieważ zrealizowany jest całkowicie w technice tryzystorowej, pracuje bardzo pewnie oraz posiada nieduże gabaryty. Ważną zaletą generatora jest mały pobór mocy oraz niezależność rozkładu prawdopodobieństwa impulsów binarnych od rozkładu pierwotnego źródła przebiegów przypadkowych /szumów/, o ile jego widmo jest szerokie w stosunku do częstotliwości powtarzania impulsów wyzwalających.

3. UKŁAD FORMUJĄCY I WPROWADZAJĄCY DO MASZYNY CYFROWEJ

Do zrozumienia zasady działania układu formującego wprowadzającego impulsy do maszyny konieczna jest pewna znajomość budowy maszyny oraz zasad programowania. Szczupłe ramy niniejszego artykułu nie pozwalają na szersze ujęcie tych zagadnień i byłoby to zresztą o tyle niecelowe, że potrzebne informacje na ten temat znaleźć można w istniejącej literaturze. Tu ograniczymy się

jedynie do podania podstawowych oznaczeń i terminologii oraz pewnych istotnych szczegółów dotyczących budowy maszyny.

Podstawowym elementem maszyny jest przerzutnik dynamiczny /rys. 3/ Jest to układ pamiętający, tzn. jego stan określony jest przez sytuację na jego dwóch wejściach, przy czym ostatni w czasie sygnał sterujący determinuje stan przerzutnika. W stanie określonym jako "jeden" lub stan "generacji", na wyjściu przerzutnika pojawia się ciąg impulsów i trwa tak długo, dopóki kolejny impuls przychodzący na wejście "0", zwane też "gaszącym", nie przerzuci go w drugi stan, w którym na jego wyjściu otrzymujemy stały, zerowy poziom napięcia. Częstotliwość impulsów określona jest przez częstotliwość "zegara" maszyny i wynosi około 400 kHz.



Rys. 3. Przerzutnik dynamiczny. Rzymska cyfra "I" oznacza fazę ciągu katodowego. /Patrz tekst str. 9/.

Jak wiadomo, ZAM-2 jest maszyną szeregową, tzn. informacja, czy to w postaci liczby czy rozkazu, wprowadzana jest do poszczególnych rejestrów kolejno pozycja za pozycją [11]. W większości rejestrów i w pamięci zawarta informacja krąży z częstotliwością zegara. Podstawowym rejestrem maszyny, przez który przechodzą wszystkie informacje jest rejestr pośredniczący, oznaczony jako rejestr P.

Zawartość jego krąży w czasie pracy maszyny, a zatrzymywana jest jedynie do celów komunikacji z urządzeniem zewnętrznym /czytnik, perforator, pamięć bębnowa/. Długość słowa w maszynie ZAM-2 wynosi 36 bitów, taką liczbę pozycji posiada też rejestr P.

Aby móc określić położenie czasowe impulsów ponumerowano je w obrębie jednego słowa. Tak więc symbol "chwila 19" oznacza, że impuls tak określony występuje w danym punkcie układu systematycznie po czasie równym 19-tej wielokrotności okresu podstawowego licząc od chwili początkowej, oznaczonej jako "zerowa".

Ponadto odstępy między poszczególnymi impulsami podzielono na cztery części, tworząc tzw. fazy. Konieczność ich wprowadzenia wynikła z tego, że sygnały sterujące przerzutnika dynamicznego muszą być przesunięte na skali czasu w stosunku do momentu generacji, określonego przez ciąg katodowy przerzutnika /rys. 3/. Fazy oznaczamy za pomocą rzymskich cyfr następujących po numerze chwili, np. 0.II, 19.IV itp.

W związku z tym, że maksymalna częstotliwość poprawnej pracy generatora wynosi około 15 kc/s jest rzeczą niemożliwą wprowadzeni impulsów losowych z prędkością maszynową; najbliższą podwielokrotnością podstawowej pulsacji zegara jest $\frac{400\ kc/s}{36} \cong 11$ kHz. Stąd widać, że konieczne będzie zatrzymywanie rejestru P i stopniowe jego przesuwanie.

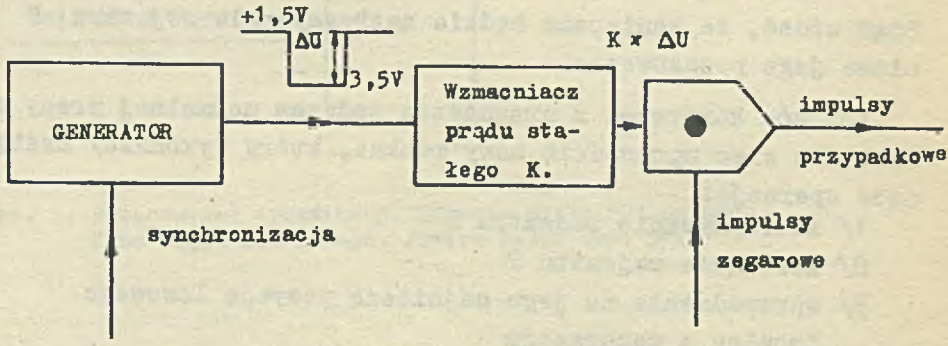
Aby móc korzystać z urządzenia podczas normalnej pracy maszyny należało więc wprowadzić nowy rozkaz, który wykonałby następujące operacje:

1/ zatrzymywanie rejestru P
2/ zerowanie rejestru P
3/ wprowadzenie na jego najniższą pozycję losowego impulsu z generatora
4/ przesunięcie rejestru o jedną pozycję w prawo
5/ powtarzanie czynności 3 i 4 36-krotnie
6/ uruchomienie krążenia rejestru P z częstością zegara
7/ wprowadzenie jego zawartości do komórki pamięci wskazanej częścią adresową rozkazu.
8/ wysyłanie sygnału końca operacji.

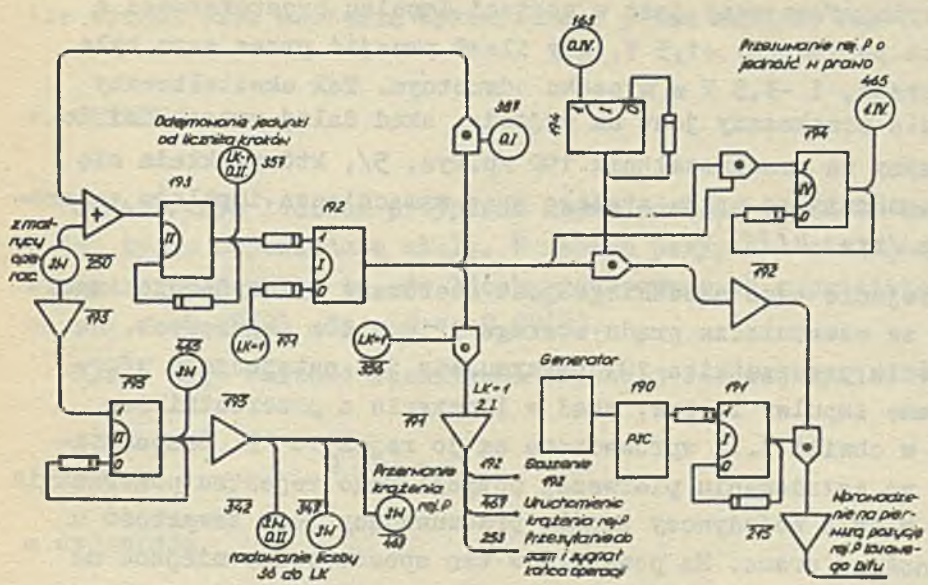
Lista rozkazów maszyny obejmuje 32 pozycje i dodatkowe rozkazy możnaby jedynie wprowadzać poprzez rozbudowę tzw. rejestru pomocniczego /RP/, którego zawartość określa sposób wykonania rozkazu PP - "PRZEPISZ", służącego do kontaktów maszyny z urządzeniami zewnętrznymi. Dzięki temu jednak, że jeden z rozkazów, oznaczony jako SW /kolejny numer 7/, wprowadzony w jednym z pierwszych egzemplarzy maszyny, jest zupełnie niewykorzystywany, powstała myśl, by wykorzystać go jako rozkaz mający za zadanie formowanie z losowych impulsów dostarczonych przez generator długich słów i wprowadzenie ich do pamięci.

Układ realizujący powyższą ideę zbudowano na typowych podzespołach stosowanych w maszynie ZAM-2 - przerzutnikach i wzmacniaczach.

Impuls z matrycy operacyjnej /dekodującej rodzaj operacji/ przychodzący w chwili 35.III zapala przerzutnik 193, /rys. 5/, który opóźnia przychodzący sygnał o jedną fazę. Pojedynczy impuls tego przerzutnika zapala z kolei przerzutnik 192, który będzie generował aż do całkowitego zakończenia operacji, jest więc elementem pamiętającym.



Rys. 4. Przekształtniki prostokątnych impulsów generatora zero-jedynkowego na standartowe impulsy maszynowe.



Rys. 5. Układowe rozwiązanie wykonywania rozkazu SW.

Równocześnie impuls SW wykonuje następujące czynności:

- poprzez przerzutnik 195 zeruje rejestr P
- poprzez wzmacniacz 195 ładuje do licznika kroków /LK/ liczbę 36 oraz unieruchamia rejestr P
- poprzez 193 odejmuje od licznika kroków jedynkę, rozpoczynając w ten sposób liczenie do 36; z chwilą gdy stan LK osiągnie zero, nastąpi koniec operacji.

Generator liczb przypadkowych przez cały czas bez przerwy dokonuje liczenia przejść przez zero. W każdej chwili 19.III jest synchronizowany impulsem z maszyny, który zatrzymuje

licznik parzystości i wyzwala układ odczytujący. Wynik tego odczytu uformowany jest w postaci impulsu prostokątnego o dwóch poziomach: +1,5 V, gdy ilość przejść przez zero była parzysta, i -3,5 V w wypadku odwrotnym. Tak ukształtowany impuls przekazany jest na wyjście, skąd dalej przechodzi do maszyny na przekształtnik 190 /p.rys. 5/, który składa się ze wzmacniacza prądu stałego oraz wzmacniacza impulsów zegarowych /rys. 4/.

Wejście tego ostatniego jest sterowane koincydencją impulsów ze wzmacniacza prądu stałego i impulsów zegarowych. Na wyjściu przerzutnika 191 otrzymujemy już ostatecznie uformowane impulsy losowe, skąd w iloczynie z przerzutnikiem 192 w chwili 1.I. wprowadzane są do rejestru P. Bezpośrednio po załadowaniu pierwszej pozycji tego rejestru przerzutnik 194 wysyła pojedynczy impuls przesuwający jego zawartość o jedność w prawo. Na powstałe w ten sposób wolne miejsce na pierwszej pozycji rejestru przesyłamy następny bit z generatora, znów przesuwając jego zawartość o jedność i odejmując poprzez przerzutnik 193 jedynkę od licznika kroków. Czynności te powtarzamy 36 razy, tj. do chwili, gdy stan licznika kroków osiągnie wartość zero i informacja o tym poprzez wzmacniacz 191 zgasi przerzutnik 192 uniemożliwiając dalsze wysterowywanie rejestru P, uruchomi ponowne krążenie tego rejestru już z częstotliwością zegara oraz otworzy drogę z P do wybranej częścią adresową rozkazu komórki pamięci. Pragnąc uzyskać większą grupę liczb np. traktując je jako N-elementowy blok stosujemy następującą pętlę programową w języku SAS: [12]

```
UB1009
1) SW. A (o) +
SB K
DB1012
SK1)
```

Czas wykonania jednego rozkazu SW, realizującego przed-

stawione wyżej operacje, wynosi około 3 m sek., a więc tyle, ile wynosi czas mnożenia wykonywanego przez maszynę ZAM-2.

4. WYNIKI

Generowanym liczbom przypisać można dowolną wielkość ustalając tylko odpowiednią skalę. W naszym przypadku stosujemy skalę zero, oznacza to, że liczby generowane są w przedziale od $\alpha = -0,99(9)$ do $\beta = +0,99(9)$.

Wobec tego wartość oczekiwana zmiennej losowej wyniesie

$$E(L) = 0$$

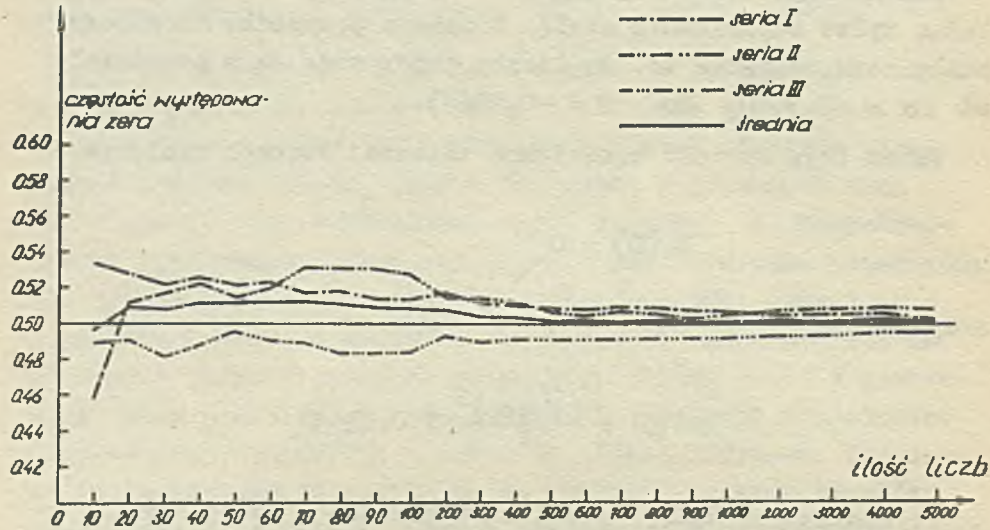
a dyspersja

$$D(L) = \frac{(\beta - \alpha)^2}{12} \cong 0.33 .$$

Przedstawione dalej wyniki są wycinkiem z całej serii badań przeprowadzonych w ciągu roku; rezultaty otrzymano zarówno lepsze, jak i gorsze. Stwierdzono, że poprawna ciągła praca generatora wynosi średnio 10 godzin; po tym czasie temperatura otoczenia wzrasta bardzo znacznie i rozkład prawdopodobieństwa zer i jedynek ulega zmianie. Można znów na pewien przeciąg czasu dokonać jego regulacji za pomocą potencjometru symetryzującego przerzutniki Schmidta. Nie przeprowadzono pełnego badania generatora w myśl zasad przyjętych przy sprawdzaniu np. ciągów liczb pseudolosowych; w szczególności nie zweryfikowano hipotezy o niezależności poszczególnych liczb, ograniczając się tylko do przedstawienia realizacji odpowiednich estymatorów.

4.1. Rozkład zer i jedynek

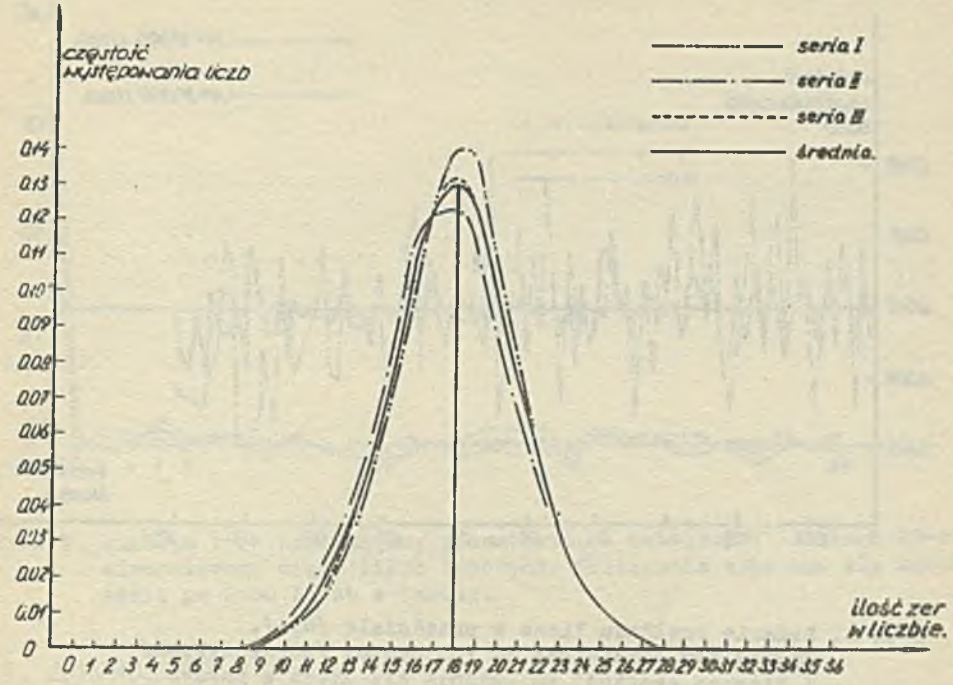
Na rys. 6 przedstawione są wyniki badania częstości występowania zera dla trzech serii obliczeń, z których każda zawiera 5000 liczb, czyli 180000 bitów.



Rys. 6. Częstość występowania zera w liczbach przypadkowych. Każda z serii zawiera 5000 liczb po 36 bitów.

Dla każdej z tych serii otrzymano wartości estymatora $\hat{p}$ prawdopodobieństwa wystąpienia zera p odpowiednio: 0.5025, 0.5003, 0.49468. W związku z tym, że dysponujemy dużą próbką estymator p ma z dużą dokładnością rozkład normalny. Można łatwo sprawdzić, że otrzymane wyniki nie prowadzą do odrzucenia hipotezy o równości prawdopodobieństw zera i jedynki.

Zbliżonym problemem jest rozkład bitów w słowie; najbardziej uprzywilejowaną liczbą jest taka, która składa się z 18-tu jedynek. Na osi poziomej na rys. 7 mamy odłożoną ilość zer w słowie, a na osi pionowej częstość występowania słów o takiej właśnie ilości zer.

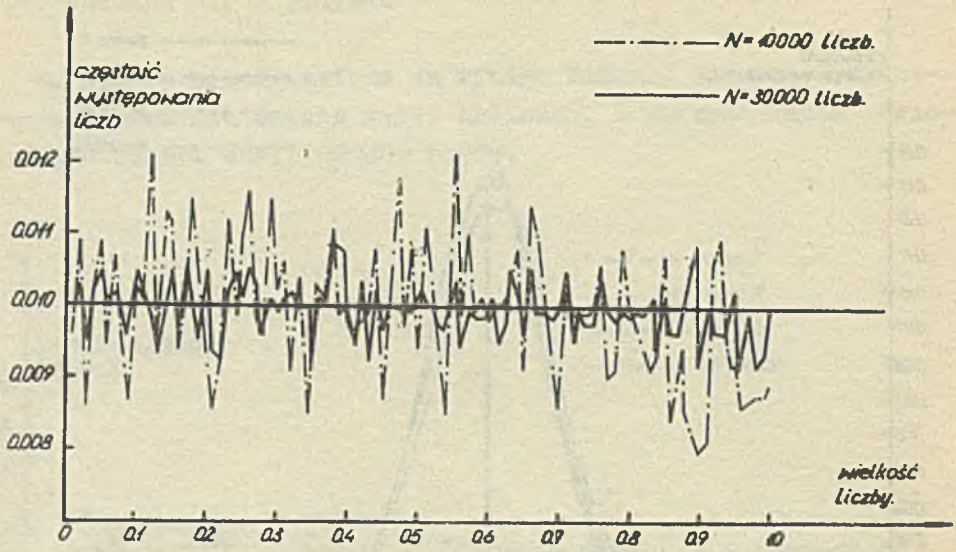


Rys. 7. Wykres przedstawia częstość występowania liczb o ilości zer odłożonej na osi odciętych.
Każda z serii zawiera 5000 liczb 36-cio bitowych.

4.2. Rozkład liczb

Badano zgodność otrzymanego rozkładu liczb z rozkładem równomiernym. Obliczenia wykonano dla stu serii liczb po 10.000 liczb z każdej serii. Typowe wyniki pokazano na rys.8, gdzie na osi poziomej odłożone są przedziały możliwych wartości zmiennej losowej, a na osi pionowej częstości występowania liczb leżących w danych przedziałach. Druga krzywa na rys. 8 przedstawia uśrednione wyniki dla trzech kolejnych serii po 10.000 liczb w każdej.

Testowanie zgodności rozkładu za pomocą statystyki χ^2 oraz testowanie hipotezy, że średnia generowanych liczb równa jest zeru nie prowadzi do odrzucenia tych hipotez.



Rys. 8. Badanie rozkładu liczb w przedziale /0,1/. Zakres ten podzielono na 100 części /oś odciętych/ i liczono częstość pojawienia się liczb w każdym podprzedziale /oś rzędnych/.

4.3. Funkcja korelacji

W związku z założeniem o stacjonarności badanego przebiegu funkcja korelacji zależeć będzie tylko od jednego argumentu - odległości między próbkami. Obliczenia funkcji korelacji dokonano na podstawie wzoru

$$\overset{1}{\varphi}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} x(k)\ x(k+n) \ ,$$

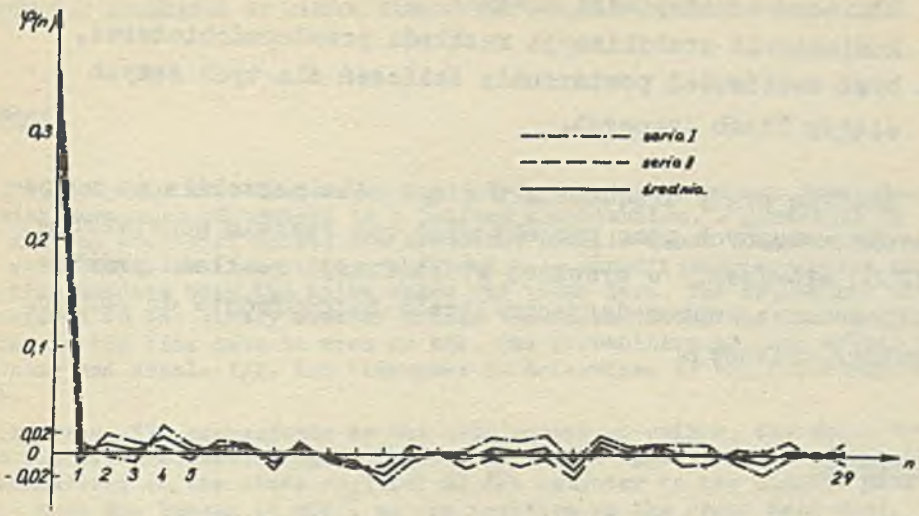
gdzie

n - numer kolejnej próbki

x(i)- realizacja zmiennej losowej

N - ilość liczb wziętych do obliczeń.

Dokonano obliczeń dla dwóch serii po 2000 liczb; wyniki prezentuje rys. 9.



Rys. 9. Funkcja korelacji między początkową, a następnymi liczbami 29-cio elementowego ciągu liczb losowych. Obliczenia wykonano dla dwóch serii po 2000 liczb w każdej.

5. ZAKOŃCZENIE

Wydaje się tu celowe zestawienie zalet i wad skonstruowanego generatora w porównaniu z programem generującym liczby pseudolosowe.

Zalety:

1. większa szybkość pracy,
2. otrzymane liczby są rzeczywiście losowe,
3. nie istnieje problem okresowości,
4. oprócz liczb o rozkładzie równomiernym otrzymuje się ciąg zer i jedynek o prawdopodobieństwie równym $\frac{1}{2}$ mogący znaleźć zastosowanie do modelowania impulsowych układów regulacji.

Wady:

1. budowa skomplikowanego urządzenia i związane z tym koszty,

2. konieczność adaptacji maszyny,
3. konieczność stabilizacji rozkładu prawdopodobieństwa,
4. brak możliwości powtarzania obliczeń dla tych samych ciągów liczb losowych.

Analiza pracy urządzenia w ciągu roku pozwoliła na rozpoczęcie wstępnych prac projektowych nad szybkim generatorem /12000 słów/sek./ o wysokiej stabilizacji rozkładu prawdopodobieństwa, wprowadzającym liczby bezpośrednio do pamięci maszyny cyfrowej.

Literatura

1. BUSLENKO N.P.: Metod statističeskich ispytanij /Monte Karlo/ i jevo realizacja na cifrovych wycislitelnych masinach, Moskwa 1961
2. BECKENBACH E.F.: Nowoczesna matematyka dla inżynierów, cz.I, Warszawa 1962:12
3. FISZ M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna, PWN, Warszawa 1958
4. TON J.T.: Digital and Sampled Data Control Systems, Mc Graw Hill, New York 1959
5. WOTGIN L.N.: Elementy teorii impulsowych układów regulacji WNT, 1964
6. SEIDLER J.: Teoria kodów, PWN, Warszawa 1965;
7. KUZIN L.T.: Analiza i synteza dyskretnych układów sterowania, WNT, Warszawa 1965
8. BARTKOWSKI T., PORĘBSKI W., ZIAJKA E.: Generator wolnozmiennych przebiegów przypadkowych do statystycznego modelowania układów regulacji, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej - w druku;
9. HAVEL J.: Menicz prawdopodobnosti, Slaboproudny Obzor 1961:24
10. BARANOWSKI J.: Tranzystorowe układy impulsowe, WNT, Warszawa 1961
11. Dokumentacja techniczna maszyny cyfrowej ZAM-2 Beta;
12. Praca zbiorowa, Maszyna ZAM-2, Opis skrócony. Kompendium programowania w języku SAS, Prace ZAM-PAN, Warszawa 1962:C3

ELECTRONIC GENERATOR OF RANDOM NUMBER FOR DIGITAL COMPUTERS ZAM-2 BETA

Summary

A description of a device for the ZAM-2 computer is given. Supplying it with sequences of numbers in a uniform distribution. A glow-tube is the initial source of noise. Its frequency band is about 1 mops. After the noise amplification it is transfered to a circuit shaping spikes at the time moments when the noise takes the value zero. The spikes are then transfered to the binary counter modulo two which checks whether their number in the time gate is even or odd. The probability of both events is the same and equals 1/2. The time-gate is determined by the ZAM-2 control unit.

The state "1" corresponds to the even number of spikes, the state "0" - to the odd one. Depending on the state, a pulse appears /or not/ and it is transfered to the store register of the computer to its highest position; then the latter is shift by one position to the right hand side, leaving place for the next pulse. This action is repeated 36 times till the whole register is filled up. Then its content is sent to the storage. The address is given by the address part of the instruction that had initiated the whole operation. The results of test investigations of the so obtained numbers are given. They are not contradictory to the assumptions of the uniformity of probability distribution and to the lack of correlation among the numbers of the sequence.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P 2225/66/67

B 18 (31)