

# 16-kanalowy skrambler z układem FX224

## kit AVT-245

W *Elektronice Praktycznej* przedstawiliśmy już skrambler audio wykorzystujący układ scalony FX118. Dziś opisujemy skrambler wykorzystujący kostkę nowej generacji - FX224. Może on być stosowany we wszelkich radiotelefonach, oraz innych torach transmisyjnych o pasmie przenoszenia do 3400Hz.

Zastosowanie oryginalnego systemu podwójnej inwersji (i ewentualnie zmiennego kodu programującego), czyni system bardzo odpornym na „złamanie”.

Temat powinien zainteresować szerokie grono Czytelników, bowiem pokazuje, jak współczesna technika radzi sobie ze złożonymi zadaniami przetwarzania sygnałów audio. Bardzo skomplikowany system elektroniczny jest dziś umieszczony w jednym układzie scalonym, a do budowy kompletnego urządzenia potrzeba do niego dodać tylko kilka kondensatorów.

We współczesnym świecie informacja stała się towarem. Poufne wiadomości dotyczące technologii, spraw handlowych czy nawet informacje o życiu prywatnym niektórych osób mogą być źródłem dużych zysków. Wykorzystanie innych informacji może przekreślić czyjąś karierę lub życie osobiste.

Różne są sposoby zdobywania takich informacji. Często uzyskuje się je drogą podsłuchu rozmów telefonicznych, co jest tym bardziej ułatwione, że prominentne osoby coraz częściej korzystają z telefonów bezprzewodowych, w tym komórkowych. Stosuje się więc najróżniejsze systemy zabezpieczenia przed podsłuchem. Klasyczną metodą jest szyfrowanie. Przy przesyłaniu danych cyfrowych jest to wręcz naturalny, skuteczny i prosty sposób zabezpieczenia. Gorzej wygląda sprawa z sygnałami analogowymi. Tu nie ma zbyt szerokiej możliwości. Jedną ze stosowanych metod jest odwracanie (inwersja) całego pasma użytecznych częstotliwości. Po przetworzeniu częstotliwości niskie stają się wysokimi, i na odwrót. Po zakodowaniu sygnał

jest nieczytelny dla ewentualnego podsłuchiawcy.

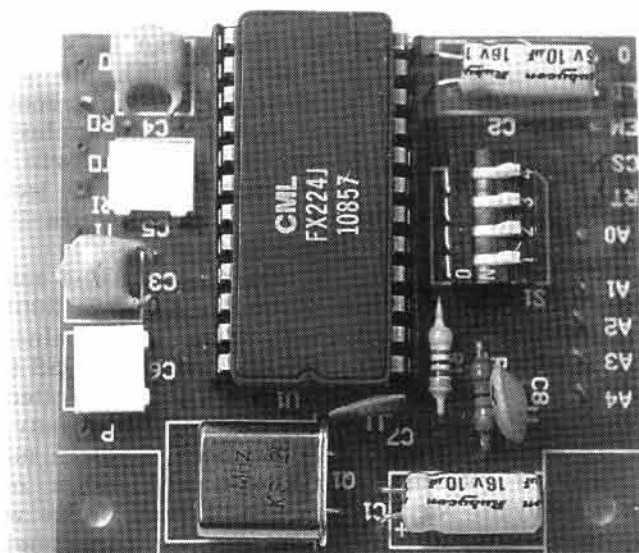
Oczywiście metoda ta nie jest trudna do „złamania” - wystarczy posiadać odpowiedni inwerter. Jeszcze prościej radzą sobie tego rodzaju szyfrowaniem na pasmach radiowych posiadacze radiotelefonów z modulacją jednowstęgową (SSB). Wystarczy się dostroić do takiego zakodowanego sygnału radiowego „z drugiej strony” i sygnał staje się czytelny.

Dlatego pojawiły się bardziej wyrafinowane metody.

### Działanie systemu

Jak powiedziano, przy kodowaniu sygnałów analogowych nie ma zbyt wielu możliwości - podstawowym sposobem pozostaje nadal inwersja pasma. Utrudnienie polega na podziale użytecznego pasma na dwie części i odwrócenie ich względem dwóch częstotliwości nośnych. System przeznaczony jest w pierwszym rzędzie dla radiotelefonów, więc pasmo użyteczne zostało ograniczone do zakresu 300...3400Hz.

Pomocą w zrozumieniu zasady działania systemu jest **rysunek 1** przedstawiający widmo częstot-



Tab.1 Parametry układu FX224.

Napięcie zasilania:	4,5...5,5V
Prąd zasilania:	praca 8mA Power Save 1,2mA
Impedancja wejściowa (Rx, Tx w czasie pracy):	100kΩ
Impedancja wyjściowa (Rx, Tx w czasie pracy toru):	max 2kΩ
Częstotliwość kwarcu:	1MHz
Dopuszczalny poziom sygnałów przetwarzanych:	-18...+6dB
Tłumienie sygnału oryginalnego (na wyjściu, tryb nadawczy):	33dB
Tłumienie filtra CTCSS (f<250Hz):	40dB
Wzmocnienie skramblera:	1 (0dB)
Pasma przenoszenia (C/S) = H):	300...3400Hz
(C/S) = L, Rx/Tx) = H):	400...2700Hz
Sumy wyjściowe:	ok. -45dB

liwościowe sygnałów podczas przetwarzania.

Na początku, w zespole filtrów o bardzo stromych zboczach, sygnał jest dzielony na dwa pasma, górne i dolne. Następnie obróbka obu pasm przebiega oddzielnie. Sygnały każdego z pasm są mieszane ze swoimi częstotliwościami nośnymi w mieszaczach zrównoważonych. Na wyjściu mieszaczy występują po dwie wstęgi boczne, z których dolna jest „odwrócona“ w stosunku do oryginału. Co bardzo ważne, obie częstotliwości nośne są tak wybrane, żeby „odwrócony“ sygnał mieścił się dokładnie w tym samym zakresie częstotliwości, co sygnał oryginalny.

Niepotrzebne górne wstęgi boczne są tłumione w zespołach filtrów o bardzo stromych zboczach, a wstęgi dolne, „odwrócone“, są sumowane tworząc zakodowany sygnał wyjściowy. Sygnał ten zajmuje dokładnie to samo pasmo, co sygnał oryginalny, może być więc przesyłany przez dowolny tor transmisyjny: linię telefoniczną, czy kanał radiowy. W celu rozkodowania, po stronie odbiorczej należy przeprowadzić proces przetwarzania, identyczny jak opisano wyżej.

Na rysunku 1 pokazano sytuację, gdy częstotliwość podziału (ang. split point) wynosi 1200Hz. Wcale nie musi to być jednak częstotliwość 1200Hz - częstotliwość podziału można wybierać dowolnie w zakresie całego pasma użytecznego (w praktyce 600...3100Hz). Oczywiście odpowiednio do tego muszą zmieniać się też obie częstotliwości nośne, aby za każdym razem sygnał zakodowany zajmował takie same pasmo, jak sygnał oryginalny.

Taką właśnie metodę kodowa-

nia zastosowano w układach scalonych FX214, FX224 i FX234. Nazywa się je skramblerami o zmiennym podziale pasma (ang. Variable Split-Band), w skrócie VSB.

Skrambler ma oddzielne wejścia i wyjścia toru nadawczego i odbiorczego (TxIN, TxOUT, RxIN, RxOUT), ale mimo swej złożoności może pracować tylko w systemie half-duplex. To znaczy, że w danej chwili może być wykorzystany tylko jeden kierunek - stąd tak duża ilość przełączników.

Dodatkowo układ zawiera filtr górnoprzepustowy 300Hz. Filtr ten tłumí ewentualne sygnały CTCSS. System CTCSS (ang. Continuous Tone Controlled Squelch System) jest stosowany w radiokomunikacji i polega na automatycznym wyciszaniu odbiornika (squelch) przy braku w odbieranym sygnale określonej częstotliwości sterującej - w systemie CTCSS dostępne jest 40 takich częstotliwości w niewykorzystywanym do transmisji mowy zakresie 67...250Hz.

Wszystkie filtry w kostkach FX2X4 zrealizowano wykorzystując metodę przełączanych pojemności, stąd łatwość ich sterowania za pomocą zmian częstotliwości taktującej. Wymagało to znacznej rozbudowy części cyfrowej, zawierającej oscylator współ-

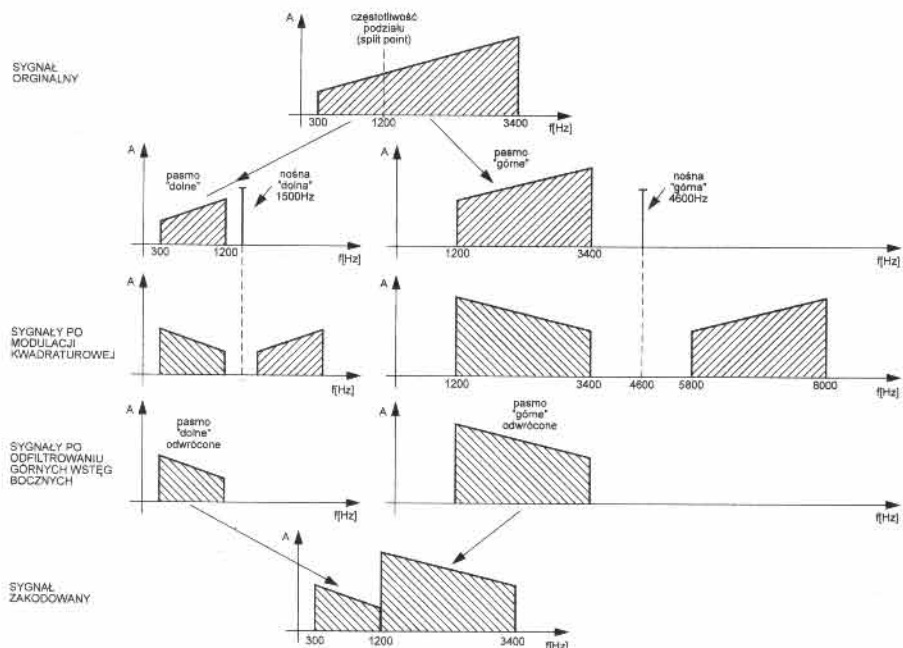
pracujący z kwarcem o częstotliwości 1MHz oraz szereg dzielników i przełączników.

Układ zawiera szereg wejść sterujących. Sygnał logiczny podany na wejście AROUND(PS)/TROUGH\ decyduje o stanie pracy kostki. Stan wysoki na tym wyjściu wyłącza niemalże wszystkie bloki, odcina wejścia i wyjścia analogowe. W takim stanie (PS - Power Save) kostka jest odcięta od układów zewnętrznych i pobiera około 1,2mA prądu, podczas gdy w stanie pracy około 8mA. Dla umożliwienia pracy układu na wejściu tym musi być stan niski.

Wejście Rx/Tx\ decyduje o trybie pracy: stan wysoki uruchamia tryb odbiorczy (Receive mode). Wejścia informacyjne (kodujące) A0...A4 dają możliwość wyboru jednej z 32 częstotliwości podziału pasma.

Sygnał LOAD/LATCH\ umożliwia zatrzaśnięcie (zapamiętanie) danych w rejestrze pamięciowym. Przy stanie wysokim rejestr jest „przezroczysty“ i dane z wejść równoległych natychmiast wpływają na pracę kostki.

Układy FX214 i FX234 mogą przyjmować dane w postaci szeregowej wykorzystując wejście zegarowe SERIAL CLOCK INPUT i wejście danych SERIAL DATA INPUT. Układ FX214 przyjmuje dane tylko w postaci szeregowej,



Rys. 1. Widma częstotliwościowe przetwarzanych przez skrambler sygnałów.

a FX224 - tylko w równoległej.

Końcówka sterująca ENABLE/MUTE\ umożliwia pracę albo wycisza układ. Stan niski wycisza sygnał na wyjściu. Wejście to jest wykorzystywane do chwilowego wyciszenia podczas automatycznego przełączania na inną częstotliwość podziału. Kostka przewidziana jest bowiem do pracy w systemie ze zmiennym kodem programującym (rolling code). W takim systemie nadajnik i odbiornik muszą zawierać wzajemnie zsynchronizowane generatory kodu programującego, zmieniającego co pewien (krótki) czas częstotliwość podziału. W takiej sytuacji potencjalny podsłuchacz naprawdę będzie mieć bardzo trudne zadanie. Nawet posiadając identyczny układ skramblera FX, praktycznie nie ma szans znalezienia właściwej częstotliwości podziału, o ile kody programujące będą się zmieniać co sekundę, lub jeszcze częściej.

Wszystkie wejścia cyfrowe mają wbudowane rezystory podciągające, wymuszające stan wysoki, gdy wejście „wisi w powietrzu“.

Końcówka BIAS służy do odsprężania wewnętrzznego napięcia odniesienia.

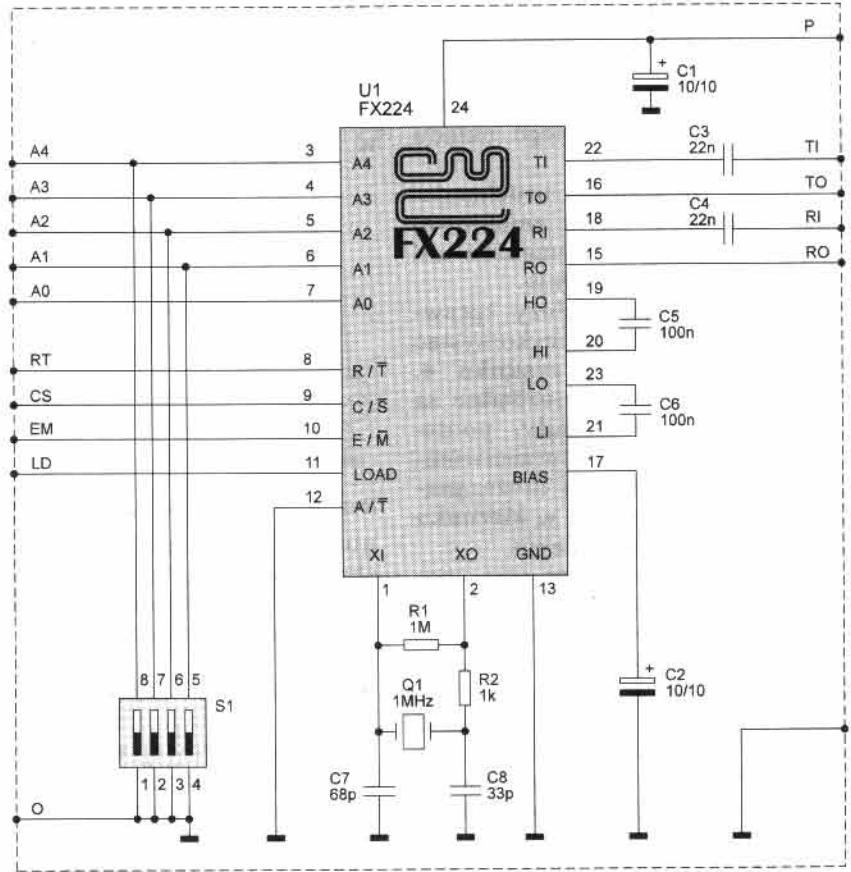
Cztery wyprowadzenia (w FX224: 19-21 i 23) służą do podłączenia zewnętrznych kondensatorów sprzegających.

W kostce FX224 nóżka 14, oznaczona w katalogu NC, powinna pozostać niepodłączona, jest bowiem końcówką testową, wykorzystywaną podczas produkcji.

W tabeli 1 podano najważniejsze parametry układu FX224, natomiast tabela 2 zawiera informacje o programujących kodach wejściowych i odpowiadających im częstotliwościach podziału i częstotliwościach nośnych obu pasm.

## Opis układu

Na rysunku 2 pokazano schemat ideowy modułu. Wykorzystano w nim kostkę FX224], układ z równoległym wejściem programującym, umieszczony w obudowie ceramicznej DIL24. Jest to w zasadzie najprostsza aplikacja kostki FX224. Moduł przeznaczony jest do wbudowania w istniejący sprzęt. Oprócz przełącznika S1 (poczwórnego dipswitcha)



Rys. 2. Schemat elektryczny skramblera.

umożliwiającego wybór 16 różnych częstotliwości podziału, przewidziano także możliwość sterowania wszystkimi funkcjami z zewnątrz. Dlatego moduł ma dziewięć wejść cyfrowych (pokazanych z lewej strony schematu) oraz analogowe wejścia nadawcze oraz odbiorcze (TI, TO, RI, RO).

Jak wynika z analizy tabeli 2, sąsiednie częstotliwości podziału są niewiele od siebie oddalone, więc w praktyce często wystarczy wykorzystanie 16 spośród dostępnych 32 kodów programujących. Dlatego, pomijając wejście A0, zastosowano typowy poczwórny dipswitch.

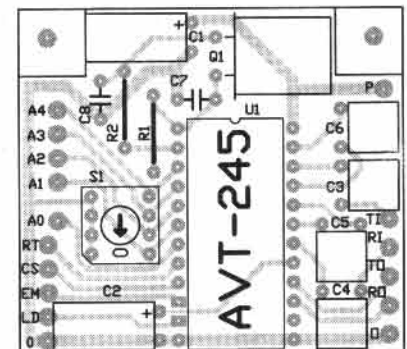
## Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płycie drukowanej, pokazanej na wkładce. Rozmieszczenie elementów przedstawia rysunek 3. Warto zwrócić uwagę, że wszystkie elementy można zmontować nisko, niektóre „na leżąco“, co da płaski moduł o wymiarach 45 x 50mm i grubości poniżej 10mm. Ułatwi to wmontowanie do istniejących urządzeń. Tam, gdzie miejsca jest jeszcze mniej, można

zaprojektować nową płytę i zastosować kostkę FX224LG przeznaczoną do montażu powierzchniowego lub nieco bardziej rozbudowany układ FX234 dostępny w 28-nóżkowej obudowie PLCC.

Na rysunku płytki zaznaczono w roli przełącznika S1 miniaturowy obrotowy nastawnik szesnastkowy. Ponieważ nie wszyscy Czytelnicy mają dostęp do takich nastawników, w modelach zamontowano popularne przełączniki typu dipswitch.

W modelach zastosowano podstawkę pod układ scalony, w wersji użytkowej należy kostki wluutować wprost w płytke.



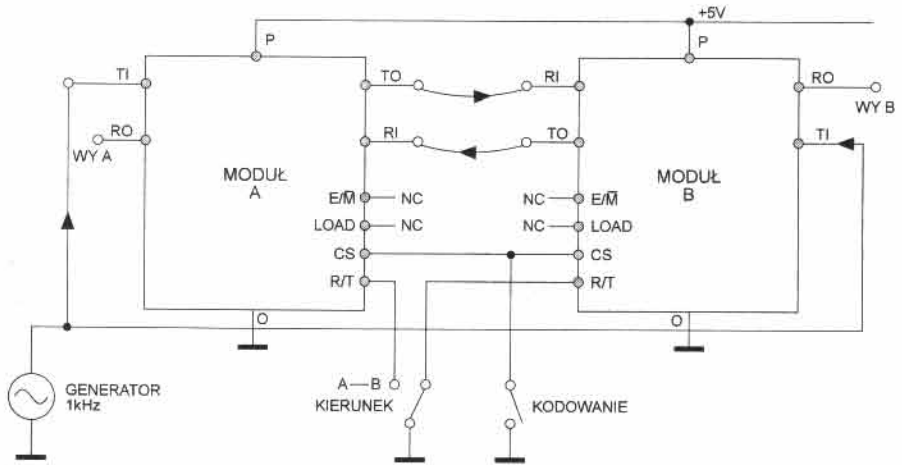
Rys. 3. Rozmieszczenie elementów.

Montaż modułu nie przysporzy trudności, należy jedynie zachować zwiększoną ostrożność przy lutowaniu bezpośrednio w płytce drukowaną dość drogiego układu FX224.

Układ nie wymaga uruchamiania, przy bezbłędnym zmontowaniu ze sprawnych elementów od razu pracuje poprawnie.

Gotowy moduł należy sprawdzić. Można do tego wykorzystać układ pokazany na rysunku 4. Jak widać, do testu niezbędne są dwa jednakowe moduły, ponieważ układ FX224, w przeciwieństwie do FX118, nie może pracować jednocześnie w kierunku nadawczym i odbiorczym.

Nie należy się przy tym spodziewać „kryształowej” czystości sygnału po przejściu przez wymyślne systemy przetwarzania. Pomimo (albo też wskutek) dużego stopnia komplikacji, układ niestety w zauważalnym stopniu szumi. Nie jest to jednak wielką wadą w porównaniu z korzyściami wynikającymi z zakodowania. Dla radykalnego zmniejszenia szumów najlepszym rozwiązaniem byłoby użycie, typowych dla systemów radiowych, komparatorów audio, choćby z układami NE575...578. Swoje znacze-



Rys. 4. Proponowany układ do testowania skramblera.

nie ma także miejsce włączenia skramblera do toru m.cz. radiotelefonu ze względu na wbudowaną pre- i deemfazę.

### Systemy ze zmiennym kodem

W podstawowej wersji zmiana kodu może następować ręcznie, za pomocą dipswitcha lub jakiegokolwiek nastawnika czy przełącznika mechanicznego.

Kuszącą propozycją jest jednak układ automatycznego generatora kodów sterujących. Taki generator może się składać z prostego układu cyfrowego wytwarzającego ciąg pseudoprzypadkowy, zrealizowanego z rejestrem przesuwnym i bramką ExOR. Najpoważniejszym problemem jest tu zapewnienie synchronizacji generatorów w nadajniku i odbiorniku. W systemach radiowych najprostszą metodą wydaje się wykorzystanie jednej lub kilku częstotliwości w niewykorzystanym pasmie m.cz. poniżej 300Hz. Ale

już w systemach telefonicznych taki sposób nie zda egzaminu. Można też wziąć pod uwagę użycie jakiegoś sygnału w pasmie przenoszenia, i jego ewentualną modulację FSK.

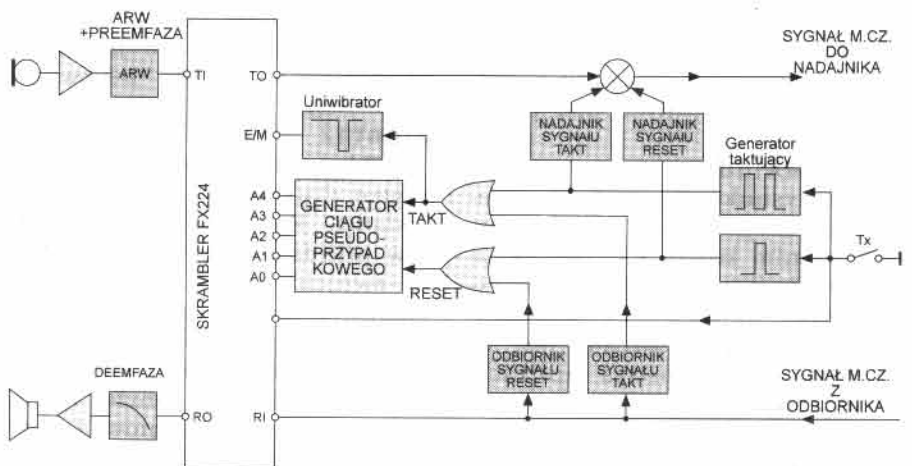
W systemie duplexowym urządzenie jednego z rozmówców wysyłałoby sygnały sterujące pracą drugiego (potrzebne są jednak po dwa moduły skramblera u każdego rozmówcy). Prościej będzie wysyłanie sygnału zerującego i kolejnych sygnałów zmiany kodu przez aktualnie czynny nadajnik. Sygnał zerujący (synchronizujący) jest konieczny, żeby nie „zgubić” kolejności zmiany kodów przy przełączaniu nadawanie/odbior.

Na rysunku 5 pokazano uproszczony schemat blokowy przykładowego systemu sterowania z kodem bieżącym. Szczegóły należy opracować we własnym zakresie.

Piotr Górecki, AVT

Tab. 2.

Numer nastawy A <sub>4</sub> A <sub>3</sub> A <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	Częstotliwość podziału [Hz]	Dolna nośna f <sub>a</sub> [Hz]	Górna nośna f <sub>b</sub> [Hz]
00000	2800	3105	6172
00001	2625	2923	6024
00010	2470	2777	5813
00011	2333	2631	5681
00100	2210	2512	5555
00101	2100	2403	5494
00110	2000	2304	5376
00111	1909	2212	5263
01000	1826	2127	5208
01001	1750	2049	5102
01010	1680	1984	5050
01011	1555	1858	4950
01100	1448	1748	4807
01101	1354	1655	4716
01110	1272	1572	4629
01111	1200	1501	4587
10000	1135	1436	4504
10001	1050	1351	4424
10010	976	1278	4347
10011	913	1213	4310
10100	857	1157	4273
10101	792	1094	4166
10110	736	1037	4132
10111	688	988	4065
11000	636	936	4032
11001	591	891	3968
11010	552	853	3937
11011	512	813	3906
11100	471	772	3846
11101	428	728	3816
11110	388	688	3787
11111	350	650	3731



Rys. 5. Schemat blokowy skramblera kodowanego dynamicznie.