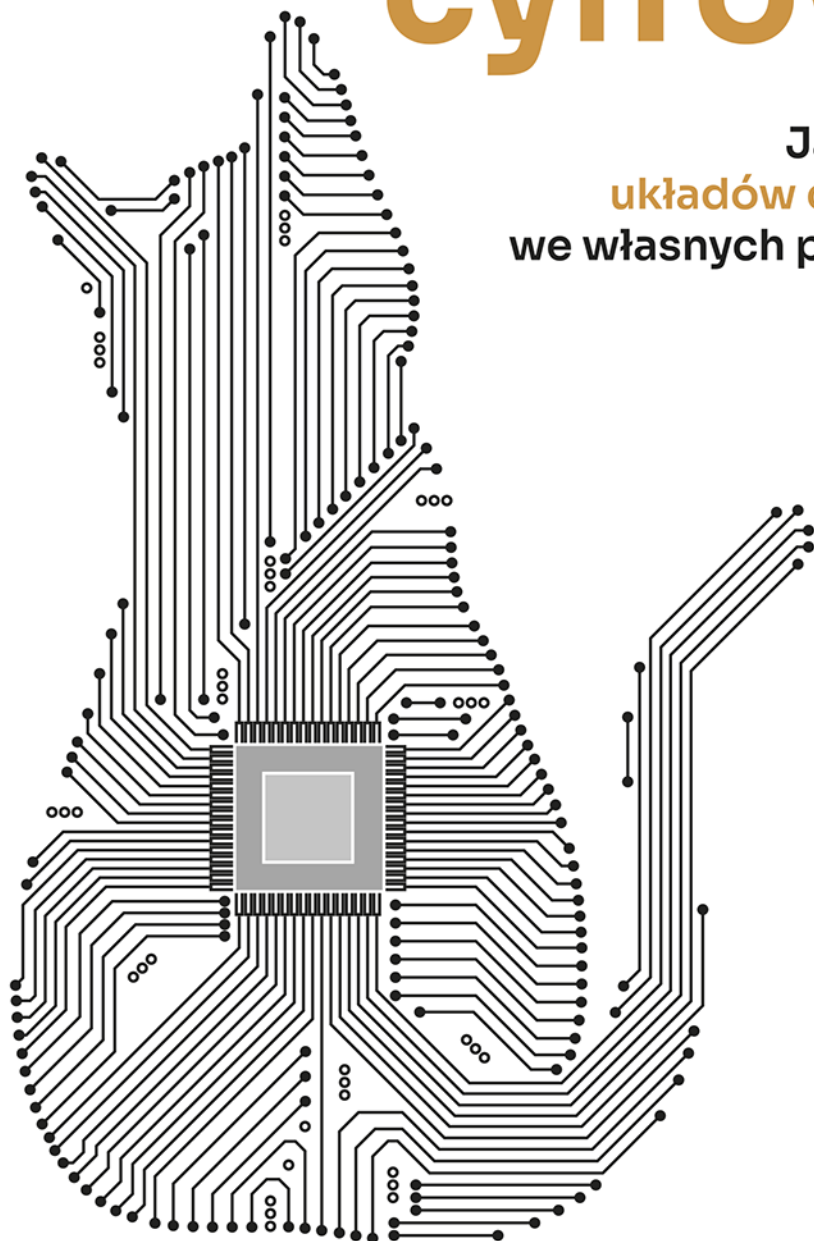


Marta Kozik

Oswoić elektronikę cyfrową

Jak używać
układów cyfrowych
we własnych projektach



Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawca dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Redaktor prowadzący: Tomasz Gojowy

Skład komputerowy w systemie \LaTeX wykonał autor.

Projekt okładki: Studio Gravite/Olsztyn

Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

Materiały graficzne na okładce zostały wykorzystane za zgodą AdobeStock.

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <https://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<https://helion.pl/user/opinie/oselcy>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-289-1814-6

Copyright © Helion S.A. 2025

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)



Spis treści

1	Cyfrowa, czyli jaka?	5
1.1	Cyfrowy świat	5
1.2	Czym się zajmiemy?	6
2	Materiały i sprzęt	7
2.1	Płytką stykowa	7
2.2	Narzędzia	9
2.3	Rezystory	9
2.4	Diody LED	12
2.5	Przyciski	14
2.6	Kondensatory	15
3	Bramki logiczne	17
3.1	NAND — NIE I	17
3.2	NOT — NIE	20
3.3	AND — I	23
3.4	OR — LUB	25
3.5	NOR — NIE LUB	27
3.6	XOR — ALBO	29
3.7	XNOR — bramka równoważności	33
3.8	Nieżywane bramki	35
3.9	Wnętrze układów CMOS 4000	37
4	Przerzutniki	39
4.1	Przerzutnik RS	39
4.2	Przerzutnik RS z wejściem enable	44
4.3	Przerzutnik D — latch	46
4.4	Synchroniczny przerzutnik D — rejestr	48
4.5	Przerzutnik T	53
4.6	Przerzutnik JK	57

5	Generatory, liczniki i inne	61
5.1	Generator przebiegu prostokątnego	61
5.2	Łączenie generatorów	64
5.3	Licznik	67
5.4	Kod Graya	71
5.5	Kodowanie one hot i licznik Johnsona	75
5.6	Rejestr przesuwny	79
5.7	LFSR	83
6	Układy kombinacyjne	89
6.1	Dekoder (oraz mintermy i maxtermy)	89
6.2	Koder priorytetowy (i tablice Karnaugh)	95
6.3	Rozkład wielomianowy (AND i XOR)	100
6.4	Sumator	106
6.5	Multiplexer — uniwersalna bramka	112
6.6	Czas propagacji	116
6.7	Hazardy	117
7	Układy sekwencyjne asynchroniczne	121
7.1	Automat	121
7.2	Przerzutnik RS raz jeszcze	122
7.3	Metoda Huffmana	125
7.4	Wyścigi	132
8	Układy sekwencyjne synchroniczne	133
8.1	Wykrywanie sekwencji 001	133
8.2	Sumator szeregowy	142
9	Dodatki	147
9.1	Lista części	147
9.2	Bibliografia	147
9.3	Podstawowe elementy elektroniczne	148
9.4	Bramki i podstawy logiki	149
9.5	Przerzutniki	150
9.6	Wprowadzenia układów scalonych CMOS4000	151



1. Cyfrowa, czyli jaka?

Wyruszymy w magiczny świat zer i jedynek. Dzięki własnoręcznie zbudowanym układom zobaczysz, jak płyną one po przewodach poprzez bramki logiczne i przerzutniki.

1.1 Cyfrowy świat

W elektronice cyfrowej nie interesują nas dokładne wartości napięć czy prądów. Ograniczamy się do dwóch stanów: 0 i 1. Określa się je czasami także jako stan niski i wysoki albo fałsz i prawdę. Zwykle kodowane są one za pomocą napięcia: wartości 0 odpowiada napięcie 0 V, a 1 to napięcie zasilania.

Zbudowano także specjalne układy elektroniczne, które mogą wykonywać operacje na takich sygnałach. Nazywają się one bramki logiczne. Jeśli miałeś kontakt z logiką, na pewno znane Ci są takie działania jak *i*, *nie* czy *lub*. Jeśli nie, nie martw się, poznasz je w kolejnych rozdziałach.

Układy cyfrowe okazały się łatwiejsze do tworzenia niż analogowe, czyli takie, w których znaczenie ma dokładna wartość napięcia czy płynącego prądu. Są one bardziej odporne na szумы i zakłócenia.

Nie musimy się jednak ograniczać tylko do dwóch stanów. Możemy na przykład przesyłać dane za pomocą więcej niż jednego sygnału. Prawdopodobnie słyszałeś o systemie dwójkowym, w którym pracują komputery (zresztą to też przykład elektroniki cyfrowej). Jednak, jak dowiesz się w kolejnych rozdziałach, to tylko jeden z wielu sposobów kodowania liczb, którego możemy użyć.

Obecnie większość urządzeń, z których korzystasz w ciągu dnia, w dużej części jest właśnie cyfrowa. Najbardziej oczywistym przykładem są procesory w komputerach. My jednak zaczniemy naszą przygodę od najprostszych elementów, dzięki czemu będziesz mógł je szybko samemu zbudować i przetestować ich działanie.

1.2 Czym się zajmiemy?

W rozdziale 2. poznamy sprzęt, jaki będzie nam potrzebny do zbudowania eksperymentów. Listę zakupów znajdziesz też w dodatku na końcu książki (9.1). Następnie poznamy podstawowe cegiełki, z których budujemy cyfrowe układy elektroniczne, czyli bramki logiczne. Rozdział 4. przedstawia sposoby, w jakie możemy złożyć z nich przerzutniki, czyli elementy z pamięcią.

Później przejdziemy do bardziej złożonych projektów. Poznamy różne sposoby reprezentacji liczb (binarne, kod Graya, kod one hot) oraz liczniki i generatory. W rozdziale 6. przeczytasz o różnych metodach tworzenia i upraszczania układów kombinacyjnych. Na końcu przejdziemy do różnych sposobów projektowania układów kombinacyjnych (czyli bez pamięci) oraz sekwencyjnych (czyli z pamięcią).

Na końcu książki znajdziesz cztery plansze z podsumowaniem najważniejszych informacji z książki:

- 9.3 Podstawowe elementy elektroniczne,
- 9.4 Bramki i podstawy logiki,
- 9.5 Przerzutniki,
- 9.6 Wyprowadzenia układów scalonych CMOS4000.

Przydadzą Ci się one przy wykonywaniu eksperymentów z książki, a także później przy tworzeniu własnych projektów.



3. Bramki logiczne

W tym rozdziale zapoznamy się z bramkami logicznymi. Są to podstawowe elementy, z których możemy składać inne układy. Zbudujemy projekty, które zademonstrują ich działanie. Dowiemy się także, jak z jednych bramek możemy stworzyć inne dzięki podstawowym zasadom algebry Boole'a.

Elementy użyte w tym rozdziale

- Rezystor $510\ \Omega$ $\times 1$
- Rezystor $100\ \text{k}\Omega$ $\times 4$
- LED zielony $\times 1$
- Microswitch $\times 4$
- CD4011 $\times 1$
- CD4030 $\times 1$

3.1 NAND — NIE I

Pierwszą funkcją logiczną, jaką rozważymy, jest NIE I (po angielsku *NAND*). Jej symbol pokazuje rysunek 3.1. Ma ona dwa wejścia, które oznaczyłam jako *A* i *B*, oraz jedno wyjście *Q*.



Rysunek 3.1: Symbol bramki NAND

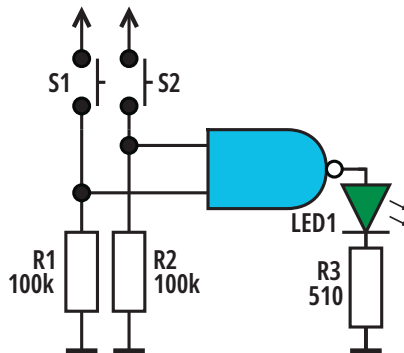
Jej działanie opisuje tak zwana tablica prawdy, którą widzimy na rysunku 3.2. Pierwsze dwie kolumny pokazują wszystkie możliwe stany wejść. W trzeciej kolumnie znajdziemy odpowiadające im stany wyjścia. Widzimy, że stan

niski (logiczne 0) na wyjściu pojawia się tylko wtedy, gdy oba wejścia są w stanie wysokim. Nie jest to najprostsza funkcja logiczna, ale zaczynamy od niej, ponieważ korzystając z niej, można zbudować dowolne inne funkcje logiczne.

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

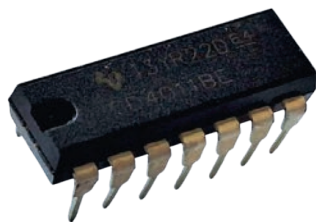
Rysunek 3.2: Tablica prawdy funkcji NAND

Aby sprawdzić jej działanie w praktyce, zbudujemy obwód elektryczny z rysunku 3.3. Naciskając przyciski S1 lub S2, na wejścia bramki logicznej podajemy stan wysoki. Gdy nie są one naciśnięte, wejścia bramki są ściągane do masy (stanu niskiego) za pomocą oporników R1 i R2. Stan wyjściowy sygnalizuje dioda LED1. Gdy na wyjściu bramki panuje logiczne 1, dioda będzie świecić. Logiczne 0 powoduje jej zgaszenie. Jak wiemy z poprzedniego rozdziału, rezystor R3 ogranicza prąd diody.



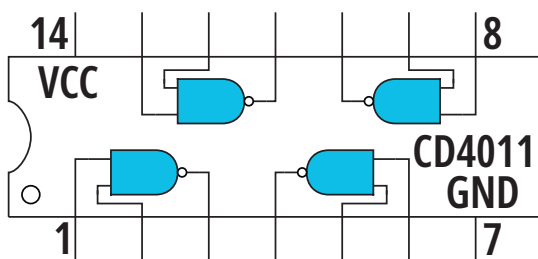
Rysunek 3.3: Układ elektryczny z bramką NAND

Nie wiemy jeszcze, skąd możemy wziąć bramkę logiczną. Otóż są specjalne układy scalone, w których znajdują się tranzystory wykonujące różne funkcje. W tym przypadku użyjemy układu CD4011. Jego wygląd pokazuje rysunek 3.4. Jak możesz zauważyć, układ ma czternaście wyprowadzeń — znacznie więcej niż potrzeba dla pojedynczej bramki.



Rysunek 3.4: Układ scalony CD4011

Rozwiązanie tej zagadki widzimy na rysunku 3.5. Pokazuje on, że w środku są aż cztery bramki NAND. My na razie użyjemy tylko jednej z nich: tej, której wejścia to piny 1 i 2, a wyjście to 3. Musimy jednak zawsze pamiętać o podłączeniu zasilania do układu. W tym przypadku wyjście 7 podłączamy do masy (minusa), a wyjście 14 do plusa zasilania.

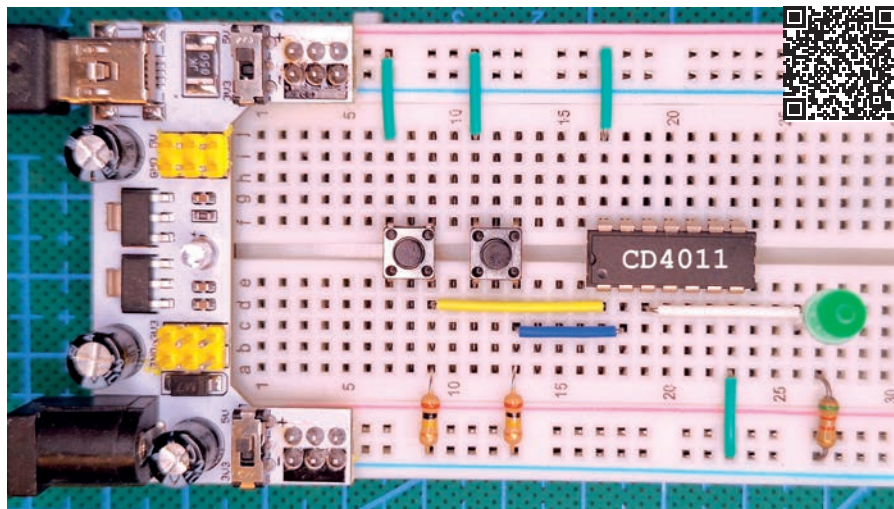


Rysunek 3.5: Wprowadzenia układu scalonego CD4011

Gotowy projekt zbudowany na płytce stykowej pokazuje rysunek 3.6. Jednak składając swój model, postaraj się bardziej skupić na schemacie z rysunku 3.3 oraz opisie wyjść układu scalonego i pozostałych elementów. Zdjęcie pokazuje jedną z wielu możliwych realizacji. Twój projekt nie musi wyglądać tak samo. Ważne, aby realizował tę samą funkcję oraz abyś rozumiał, jakie elementy zostały w nim wykorzystane. Naciskając przyciski, podajemy stany wysokie na odpowiadające im wejścia bramki NAND. Natomiast stan wyjściowy obserwujemy na diodzie LED.

Jeśli masz wątpliwości, jak rozróżnić układy scalone, to mam dla Ciebie dobrą wiadomość: na każdym jest nadrukowane oznaczenie. Czasami jest ono słabo widoczne. W tym przypadku musimy wybrać taki, na którym napi-

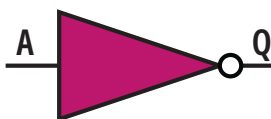
sano 4011. Numerację pinów znajdujemy za pomocą nacięcia bądź kółeczka na obudowie. Lokalizację oznaczenia zaprezentowano na rysunku 3.5. Po lewej stronie znajdziemy pin numer 1. Kolejne są numerowane w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.



Rysunek 3.6: Układ eksperymentalny z bramką NAND na płycie stykowej

3.2 NOT — NIE

Drugą funkcją logiczną, której się przyglądnijemy, jest NIE (po angielsku *NOT*). Jej symbol widzimy na rysunku 3.7. Ma ona tylko jedno wejście (*A*) oraz jedno wyjście (*Q*). Jej tablicę prawdy pokazuje rysunek 3.8.



Rysunek 3.7: Symbol bramki NOT

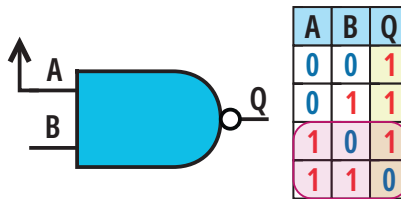
A	Q
0	1
1	0

Rysunek 3.8: Tablica prawdy funkcji NOT

Jak widzimy, na wyjściu znajdziemy stan przeciwny do tego na wejściu. Zapisując w równaniu, negację zwykle zaznacza się za pomocą symbolu \neg albo kreski nad zmienną:

$$Q = \neg A = \bar{A} \quad (3.1)$$

W naszym układzie scalonym mamy same bramki NAND. Są inne układy, wyposażone w bramki NOT. My jednak spróbujemy tak połączyć bramkę NAND, aby działała jak NOT. Można to zrobić na dwa sposoby. Pierwszy z nich pokazuje rysunek 3.9. Gdy na wejście A podamy na stałe stan wysoki, wtedy „aktywne” będą dwa ostatnie wiersze w tablicy prawdy. Widzimy, że wartość Q jest wtedy przeciwna do wartości wejścia B . Stworzyliśmy w ten sposób funkcję NIE.

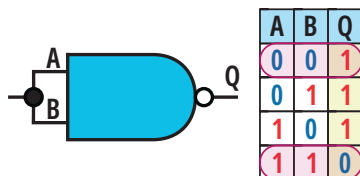


Rysunek 3.9: Realizacja NOT z bramki NAND

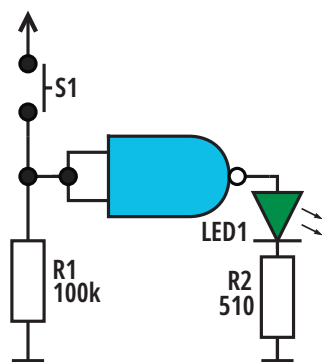
Drugie podejście przedstawia rysunek 3.10. Tutaj wejścia A i B łączymy razem. Wtedy „aktywne” są wiersze 1 i 4. Tu także możemy odczytać, że wartość na wyjściu jest zanegowanym wejściem.

Aby sprawdzić działanie bramki NOT, zbudujemy układ z rysunku 3.11. Realizację układu na płytce stykowej pokazuje rysunek 3.12. Przy budowie pamiętajmy także o podłączeniu zasilania do układu scalonego (piny 7 i 14). Stan na wejściu bramki ustalamy za pomocą przycisku S1, a stan wyjścia

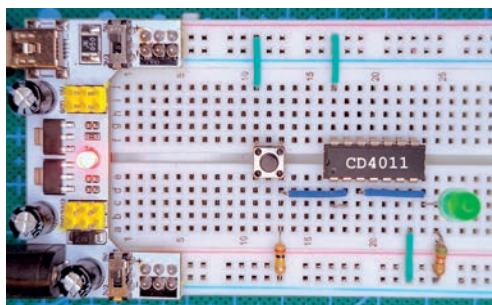
sygnalizuje dioda LED. Gdy przycisk jest puszczonej, na wejściu panuje stan niski. Wtedy na wyjściu bramki panuje stan wysoki i dioda LED świeci. Naciśnięcie przycisku wymusza stan wysoki. Wtedy na wyjściu panuje stan przeciwny, czyli logiczne zero, co powoduje, że dioda jest zgaszona.



Rysunek 3.10: Realizacja NOT z bramki NAND, wersja 2



Rysunek 3.11: Schemat elektroniczny eksperymentu z bramką NOT



Rysunek 3.12: Układ z bramką NOT zbudowany na płytce stykowej

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion

Eksperymentuj i buduj!

Odkryj tajniki elektroniki cyfrowej

Elektronika cyfrowa jest dziedziną elektroniki zajmującą się układami cyfrowymi, sygnałami cyfrowymi i sposobami ich przetwarzania. Jej rozwój stał się punktem wyjścia do zbudowania współczesnych maszyn matematycznych, czyli komputerów. Elektroniczne układy cyfrowe pozwalają tworzyć bramki logiczne i — dalej — układy scalone, złożone z bardzo wielu bramek logicznych.

Jeśli chcesz poeksperymentować z różnymi układami cyfrowymi, ta książka powinna się stać Twoim pierwszym pomocnikiem. Nie tylko dowiesz się z niej, w jakie materiały i sprzęt musisz wyposażać swoją pracownię, ale także:

- Zrealizujesz projekty demonstrujące działanie bramek logicznych
- Nauczysz się tworzyć przerzutniki, generatory i liczniki
- Przyjrzyś się układom kombinacyjnym
- Zajmiesz się układami sekwencyjnymi asynchronicznymi i synchronicznymi

Będziesz do tego potrzebować wyłącznie podstawowych, łatwo dostępnych elementów. Wszystkie opisane projekty wykonasz własnymi rękami, bez użycia lutownicy, i odpoczywając od komputera.



Marta Kozik jest absolwentką automatyki i robotyki na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracowała między innymi z systemem operacyjnym FreeBSD i frameworkiem DPDK. Zajmowała się także implementacją sieci 5G w układach FPGA. Jest autorką blisko pięćdziesięciu artykułów popularnonaukowych z zakresu elektroniki i informatyki. Jeśli zafascynuje Cię elektronika cyfrowa, sprawdź także *Oswoić FPGA z SystemVerilog. Jak używać programowalnych układów logicznych we własnych projektach!*

Helion 



helion.pl



HELION S.A.
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
helion@helion.pl

KOD KORZYŚCI
Sięgnij po więcej! ▶



ISBN 978-83-289-1814-6



Cena: 49,90 zł