

УДК 621.3.049.77

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛОГИКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

Леопольд Викторович Брижанский¹

кандидат технических наук, доцент

kinglion_brig@inbox.ru

Юлия Александровна Брижанская²

учитель физики

Степан Романович Мерзляков¹

студент

merzlakovstepan16@gmail.com

Елизавета Леопольдовна Брижанская³

студент

lionbrig@mail.ru

¹Мичуринский государственный аграрный университет

²МБОУ СОШ №18

г. Мичуринск, Россия

³МГТУ им. Н.Э. Баумана

г. Москва, Россия

Аннотация. Компьютерная логика – основа функционирования любой электронно-вычислительной машины, а построение микросхем на транзисторах на сегодняшний день является одним из самых эффективных способов её реализации. В связи с этим актуален анализ физических основ работы транзистора и основанных на нём схем. Авторами изучено строение полевого транзистора, КМОП схем и реализация двоичной логики с их использованием.

Ключевые слова: транзистор, компьютерная логика, КМОП, CMOS, MOSFET.

Транзистор – ключевой компонент, лежащий в основе компьютерной логики. Это полупроводниковое устройство, которое регулирует прохождение электрического тока в зависимости от подаваемого управляющего сигнала.

Исторически транзисторы заменили менее эффективные технологии – громоздкие электронные лампы и механические реле. Из-за их медленного действия, больших габаритов и других ограничений к 1960-м годам транзисторы стали основным элементом электроники [5,6].

Существует два основных типа транзисторов: **биполярные** и **полевые**. Хотя каждый из них имеет свои особенности, в цифровых схемах чаще применяются полевые транзисторы (MOSFET), благодаря ряду преимуществ:

- **Энергоэффективность** – минимальное энергопотребление в состоянии покоя и, как следствие, сниженное тепловыделение.
- **Удобство управления** – ток регулируется напряжением, что упрощает проектирование схем.
- **Быстродействие** – время переключения достигает нано- и даже пикосекунд, обеспечивая высокую производительность.
- **Компактность** – технологичность изготовления позволяет размещать миллиарды транзисторов на крошечных чипах.

Полевые транзисторы, используемые в компьютерных микросхемах, чаще всего выполняются по технологии **MOSFET** (металл-оксид-полупроводник). Их конструкция основана на изолированном затворе из оксида кремния, что обеспечивает высокую эффективность управления током.

Рассмотрим принцип работы **n-канального MOSFET** (рис. 1). Его структура включает:

- **p-подложку** (основную полупроводниковую область);
- **две n-области** (исток и сток);
- **затвор** – проводящий слой, отделённый от подложки тонким диэлектриком (оксидом кремния).

Между n- и p-областями формируется **p-n-переход**, который в исходном состоянии препятствует протеканию тока из-за разницы зарядов. Для управления транзистором используются три вывода:

- **исток** (подключён к отрицательному полюсу);
- **сток** (подключён к положительному полюсу);
- **затвор** (управляющий электрод).

Подложка обычно соединяется с истоком. В отсутствие напряжения на затворе ток через транзистор не течёт, так как p-n-переход остаётся закрытым. Однако при подаче **положительного напряжения** на затвор свободные электроны притягиваются к нему, формируя **инверсионный слой** – проводящий канал между истоком и стоком. Это позволяет току свободно протекать. Если же на затвор подать **отрицательное напряжение**, электроны отталкиваются, и канал разрушается, блокируя ток. [1-4]

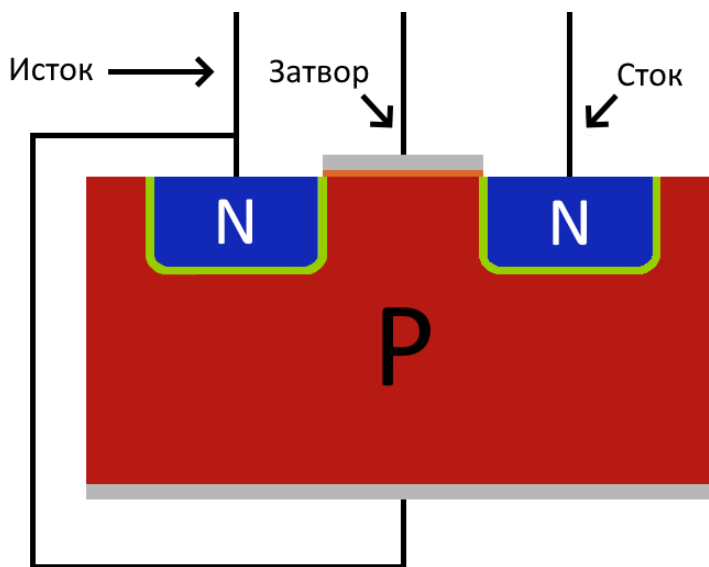


Рисунок 1 – Устройство MOSFET транзистора.

P-канальные MOSFET работают аналогично, но с обратной полярностью: ток управляется отрицательным напряжением на затворе, а основными носителями заряда являются не электроны, а дырки.

Такой механизм управления делает MOSFET идеальным компонентом для цифровых схем, обеспечивая высокую скорость переключения и энергоэффективность.

Современная вычислительная техника основывается на удивительно простом, но эффективном принципе: бинарные состояния реализуются через управление током в полупроводниковых структурах. Когда напряжение определенной полярности открывает MOSFET-канал, позволяя току протекать, мы интерпретируем это как логическую единицу. Отсутствие тока соответствует нулевому состоянию.

CMOS-технология: симфония комплементарных структур

Сердце современных микросхем - КМОП (CMOS) архитектура (Рис. 2), представляющая собой элегантное сочетание:

- Р-канальных MOSFET (дырочная проводимость)
- N-канальных MOSFET (электронная проводимость)

Эти комплементарные пары работают в идеальной гармонии, подчиняясь строгим правилам:

- Р-канальные элементы всегда ориентированы к источнику питания
- N-канальные компоненты направлены к земляной шине
- Взаимное дополнение обеспечивает энергетическую эффективность

Архитектура базовых логических элементов

1. Инвертор (NOT gate)

Конфигурация "верхний p-MOS + нижний n-MOS" образует элементарный преобразователь:

- Подача "1" активирует нижний транзистор, подтягивая выход к "0"
- При "0" на входе верхний элемент поднимает выход до "1"
- Потребление энергии - только в момент переключения

2. Логический вентиль NAND (2И-НЕ) (Рис. 3)

Гениальность конструкции проявляется в:

- Параллельном включении p-канальной пары
- Последовательной цепочке n-канальных элементов
- Реализации булевой функции отрицания конъюнкции

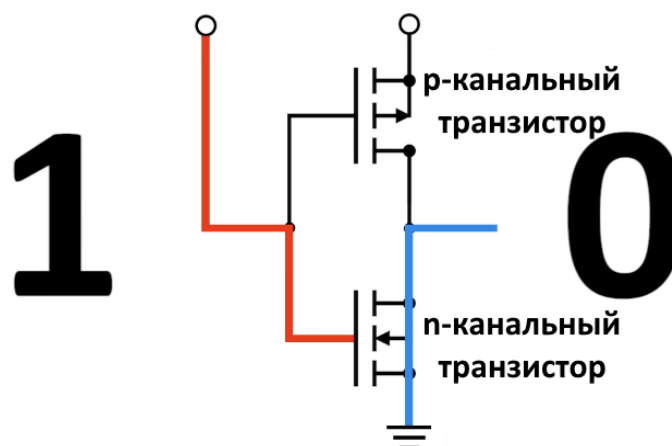


Рисунок 2 – КМОП структура логического «НЕ».

Таблица истинности 2И-НЕ:

Вход А	Вход В	Результат
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Преимущества CMOS-парадигмы:

- ✓ Практически нулевое статическое энергопотребление
- ✓ Искключительная плотность компоновки
- ✓ Высокая устойчивость к помехам
- ✓ Широкий диапазон рабочих напряжений
- ✓ Возможность каскадного соединения элементов

Эта технологическая платформа стала краеугольным камнем микроэлектроники, позволив создавать процессоры с миллиардами транзисторов, сохраняя при этом энергоэффективность и надежность. Именно симбиоз р- и n-канальных структур сделал возможной современную компьютерную революцию, обеспечив экспоненциальный рост вычислительной мощности по закону Мура [2, 3].

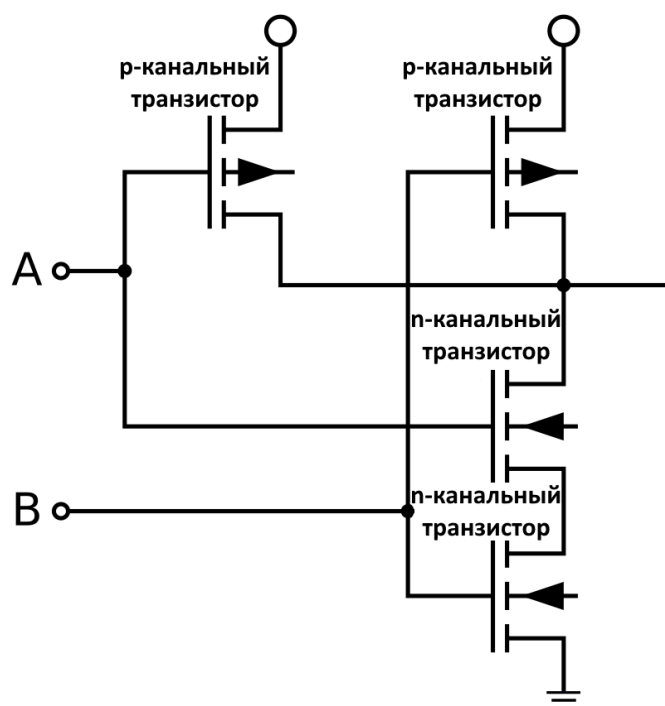


Рисунок 3 – КМОП структура логического «И-НЕ».

Таким образом, построение компьютерной логики на основе полевых транзисторов, образующих КМОП структуру, является наиболее удачным способом реализации транзисторной логики. При малом потреблении энергии и теплоотдаче оно позволяет создавать относительно несложные микроскопические схемы.

Список литературы:

1. Rabaey J.M., Chandrakasan A., Nikolic B. Digital Integrated Circuits: A Design Perspective. 2nd ed. Pearson. 2003.
2. Weste N.H.E., Harris D. CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective. 4th ed. Addison-Wesley, 2010.
3. Каган Б.М. Основы проектирования микроэлектронных устройств. М.: Энергия. 1979. 536 с.
4. Титов В.А., Морозов А.В. Физические основы работы полевых транзисторов. СПб.: Лань. 2015. 256 с.
5. IEEE Xplore – База статей по микроэлектронике. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org>

6. Препринты по физике полупроводников arXiv. – URL:
<https://arxiv.org>

UDC 621.3.049.77

PHYSICS ASPECTS OF BUILDING COMPUTER LOGIC BASED ON THE USE OF TRANSISTORS

Leopold V. Brizhansky¹

candidate of technical sciences, associate professor

kinglion_brig@inbox.ru

Yulia Al. Brizhanskaya²

Physics Teacher

Stepan R. Merzlyakov¹

student

merzakovstepan16@gmail.com

Elizaveta L. Brizhanskaya³

student

lionbrig@mail.ru

¹Michurinsk State Agrarian University

²Secondary School No. 18

Michurinsk, Russia

³Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russian Federation

Abstract. Annotation. Computer logic is the basis for the operation of any electronic-computing machine, and the construction of microcircuits based on transistors is one of the most effective ways of its realization today. Therefore, it is relevant to analyze the physical basis of the transistor and circuits based on it. The

authors have studied the structure of the field-effect transistor, CMOS circuits and realization of binary logic using them.

Keywords: transistor, computer logic, CMOS, MOSFET.

Статья поступила в редакцию 10.05.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 10.05.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.