

# Оглавление

<b>I</b>	<b>Релейный конструктор</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Релейная логика</b>	<b>7</b>
2.1	Логические уровни . . . . .	7
2.2	Тумблеры . . . . .	7
2.2.1	Практикум . . . . .	8
2.2.2	Задачи . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Хранение и передача данных</b>	<b>9</b>
3.1	Шина . . . . .	10
3.2	RS-триггер . . . . .	10
3.3	Регистр . . . . .	10
3.3.1	Практикум . . . . .	11
3.3.2	Задачи . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Вычисления</b>	<b>13</b>
4.1	Логические операции . . . . .	13
4.2	Унарные логические операции . . . . .	13
4.2.1	Практикум . . . . .	14
4.2.2	Задачи . . . . .	14
4.3	Логическое И . . . . .	14
4.4	Логическое ИЛИ . . . . .	15
4.5	Исключающее ИЛИ . . . . .	16
4.6	Бинарные логические операции . . . . .	17
4.6.1	Подготовка . . . . .	17
4.6.2	Практикум . . . . .	17
4.7	Шина и регистровый файл . . . . .	18
4.7.1	Практикум . . . . .	19
4.8	Арифметические операции . . . . .	20
4.9	Сложение . . . . .	20
4.10	Сумматор . . . . .	20
4.10.1	Подготовка . . . . .	21
4.10.2	Практикум . . . . .	21
4.10.3	Задачи . . . . .	22
4.11	Вычитание . . . . .	22
4.11.1	Вычитание через сложение с дополнительным обратным кодом . . . .	22
4.11.2	Вычитание с помощью сумматора и инвертора . . . . .	22

<b>5</b>	<b>Калькулятор</b>	<b>25</b>
5.1	Калькулятор для 7 операций . . . . .	25
5.2	Расширение вычислений до восьми бит . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Элементы компьютера</b>	<b>29</b>
6.1	Дешифратор . . . . .	29
6.2	ПЗУ . . . . .	29
6.3	Декодер инструкций . . . . .	29
<b>7</b>	<b>Компьютер</b>	<b>31</b>

Часть I

Релейный конструктор



## Глава 1

# Введение



## Глава 2

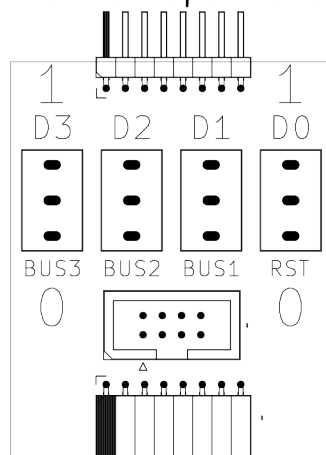
# Релейная логика

### 2.1 Логические уровни

При использовании электромагнитных реле логической единице соответствует наличие напряжения (цепь замкнута), а логическому нулю — отсутствие напряжения (цепь разомкнута).

### 2.2 Тумблеры

Положение переключателей

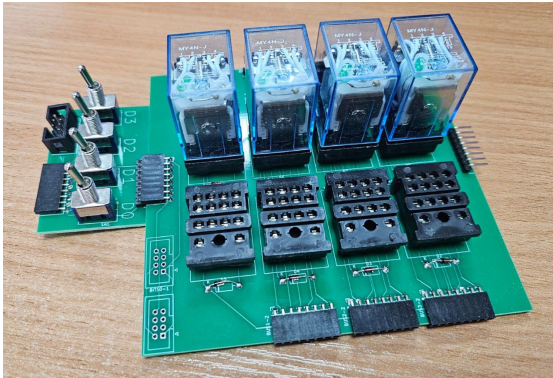


Положение переключателей

Модуль с тумблерами используется для ручного включения и выключения реле. Присоединяя его к разным разъёмам, можно задавать четырёхбитное число, либо переключать до четырёх управляющих сигналов.

Проще всего проверить работу тумблеров, подключив их к управляющей шине регистрового модуля, в который вставлены только 4 реле.

### 2.2.1 Практикум



1. Переключать тумблеры. Убедиться, что положение одного тумблера меняет состояние одного реле.
2. Запомнить включенное и выключенное состояния тумблера, чтобы позднее не было проблем с управлением другими схемами.

### 2.2.2 Задачи

1. Придумать, как соединить тумблеры для выполнения логического ИЛИ.
2. Придумать, как соединить тумблеры для выполнения логического И.

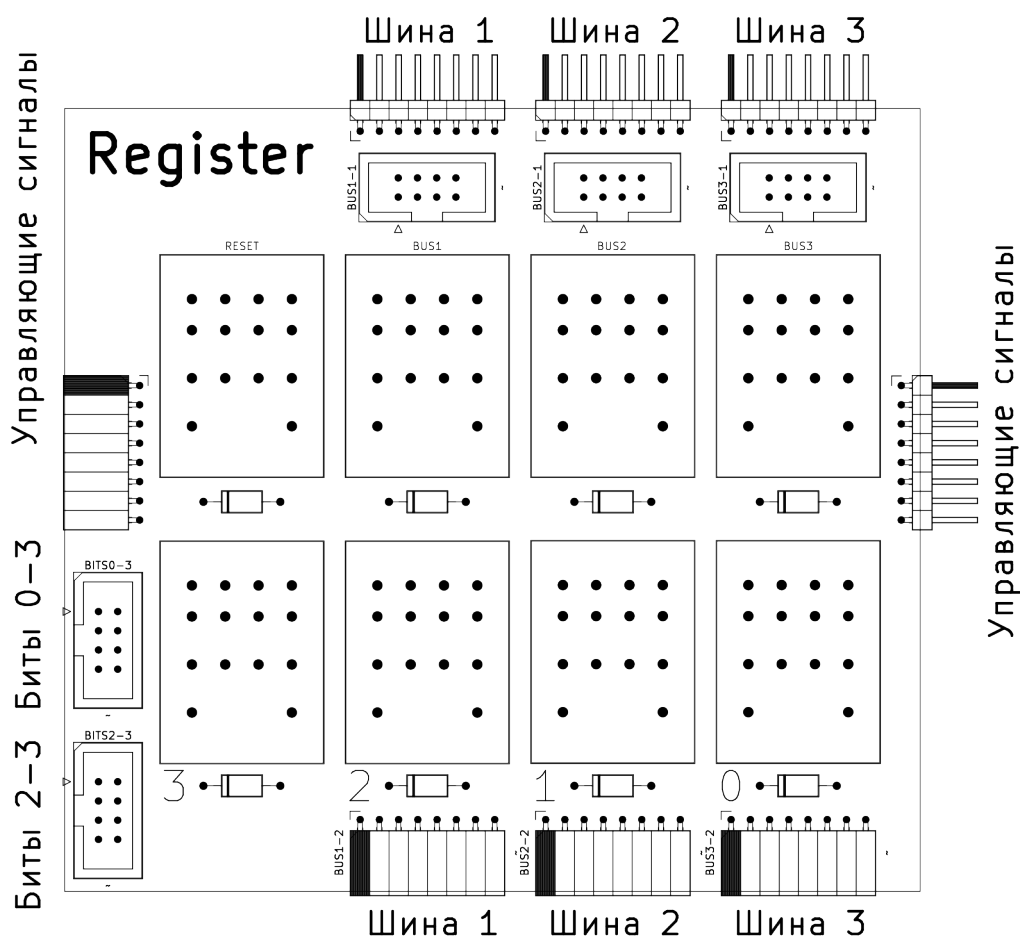




# Хранение и передача данных

### 3.2 RS-триггер

### 3.3 Регистр



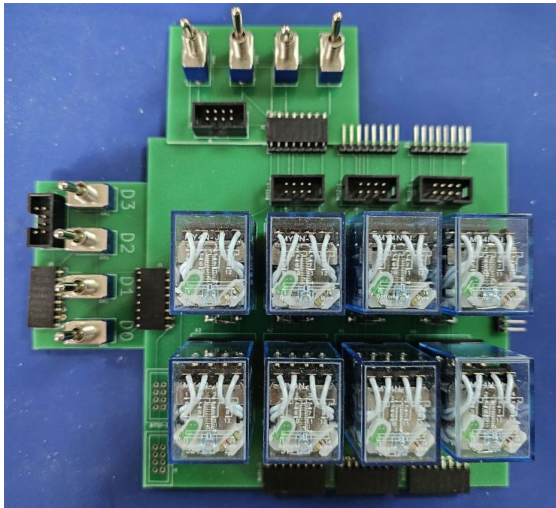
Модуль четырёхбитного регистра состоит из четырёх реле-триггеров, одного реле для обнуления регистра и трёх реле для подключения к шинам данных.

Модуль «Регистр» имеет следующие разъёмы:

- Слева и справа: управляющие сигналы сброса и выборки. Можно подключить тумблеры для ручного включения сигналов. Также можно соединить несколько модулей регистра, чтобы управлять одним набором сигналов сразу для 8, 12 ... бит.
- Сверху и снизу: три шины данных. Реле регистра могут подключаться к шинам для записи или чтения данных.
- Дополнительные разъёмы с битами 0 – 3 и 2 – 3 для чтения или записи значения без подключения к шине.

### 3.3.1 Практикум

Протестировать работу регистра можно собрав следующую схему:



- Тумблеры слева управляют работой регистра. Бит 0 — обнуление, бит 1 — выборка на шину 1.
- Тумблеры сверху нужны для ввода значения регистра. Когда он подключается к шине 1, значения, набранное на тумблерах, записывается в регистр.

#### Регистр без шины

1. Подключить тумблеры проводом к битам 0 – 3 вместо шины.
2. Набирать значение, убедиться, что биты переключаются в 1, но не возвращаются в 0.
3. Обнулить тумблеры с данными.
4. Включить и выключить сигнал сброса. Убедиться, что значения всех битов теперь 0.

**Регистр с шиной**

1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать значение на тумблерах для данных. Убедиться, что это не влияет на регистр.
3. Включить и выключить сигнал выборки на шину 1. Убедиться, что данные записались в регистр.
4. Включить и выключить сигнал сброса. Убедиться, что значения всех битов теперь 0.

**3.3.2 Задачи**

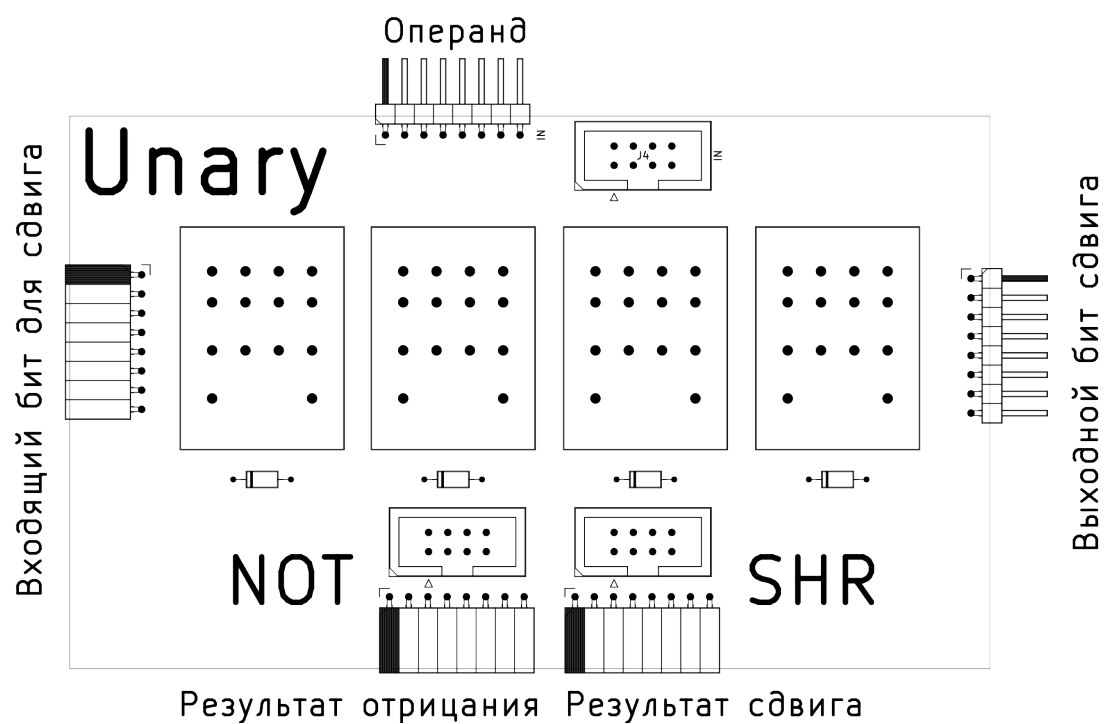
1. Придумайте, как скопировать данные из одного регистра в другой, не запоминая их в голове.

## Глава 4

# Вычисления

### 4.1 Логические операции

### 4.2 Унарные логические операции

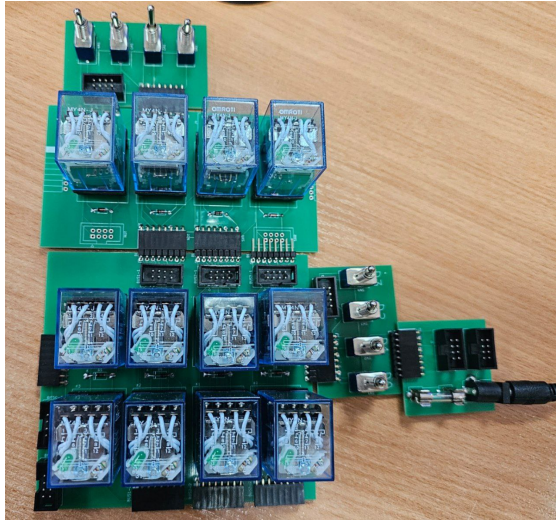


Модуль для унарных операций выполняет действия над 4-битным числом: сдвиг вправо и инверсия битов.

Может каскадироваться для сдвига 8-битных чисел.

### 4.2.1 Практикум

На вход модуля унарных операций подключается модуль с тумблерами. Выходы подключаются к шинам регистра.



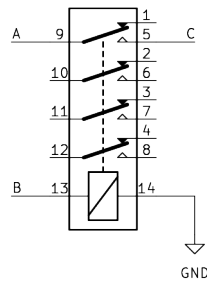
1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать на тумблерах со входными данными значение 1100.
3. Подключить выходной регистр к шине 1. Убедиться, что в него записалось значение 0011 (инверсия).
4. Отключить регистр от шины, сбросить его значение.
5. Подключить выходной регистр к шине 2. Убедиться, что в него записалось значение 0110 (сдвиг вправо).

### 4.2.2 Задачи

1. Собрать устройство, позволяющее сдвигать содержимое регистра и записывать результат обратно. Занести в регистр значение 1000 и сдвигать его до тех пор, пока не получится 0001. Вторую часть можно выполнять на скорость.

## 4.3 Логическое И

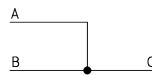
Реле представляет собой управляемый выключатель или переключатель. Если на один контакт  $A$  выключателя подать сигнал, то на другом  $C$  он появится только если на обмотке реле  $B$  есть напряжение (логическая единица).



Получается, что на выходе выключателя сигнал будет только тогда, когда реле включено и на входе выключателя тоже не ноль. Это означает, что такая схема реализует операцию логическое «И»:  $C = A \wedge B$ .

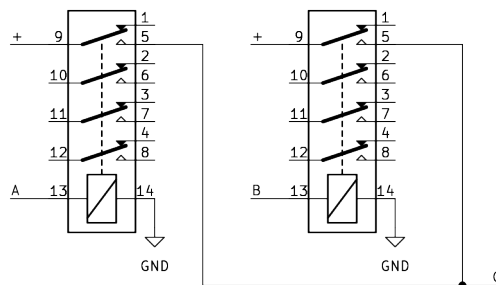
## 4.4 Логическое ИЛИ

Схему для выполнения логического «ИЛИ» можно получить, если соединить два выхода (две цепи). Тогда напряжение на объединённом выходе появится в любом из вариантов, если на первом выходе единица или на втором:  $C = A \vee B$ .



Но у этого способа есть один недостаток. Если на входе  $A$  окажется единица, то так как все входы и выходы соединены в одну цепь, поданное через  $A$  напряжение будет влиять и на вход  $B$ . И когда  $B$  используется ещё где-то, всё заработает неправильно, какое-то реле включится. Такой вот паразитный сигнал —  $A$  влияет на выходы, зависящие от  $B$ .

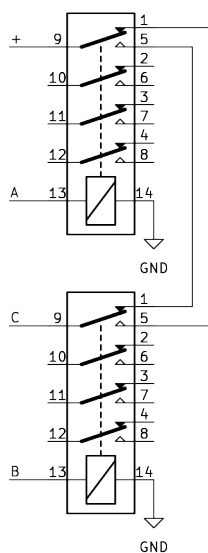
Поэтому иногда стоит использовать схему с реле для логического «ИЛИ»:



## 4.5 Исключающее ИЛИ

Схема для вычисления «исключающего или» несколько сложнее. Результат операции должен равняться единице только тогда, когда операнды не равны. То есть если на одном из входов уже было напряжение, а потом оно появляется и на другом входе, выход из состояния единицы должен переключиться в ноль.

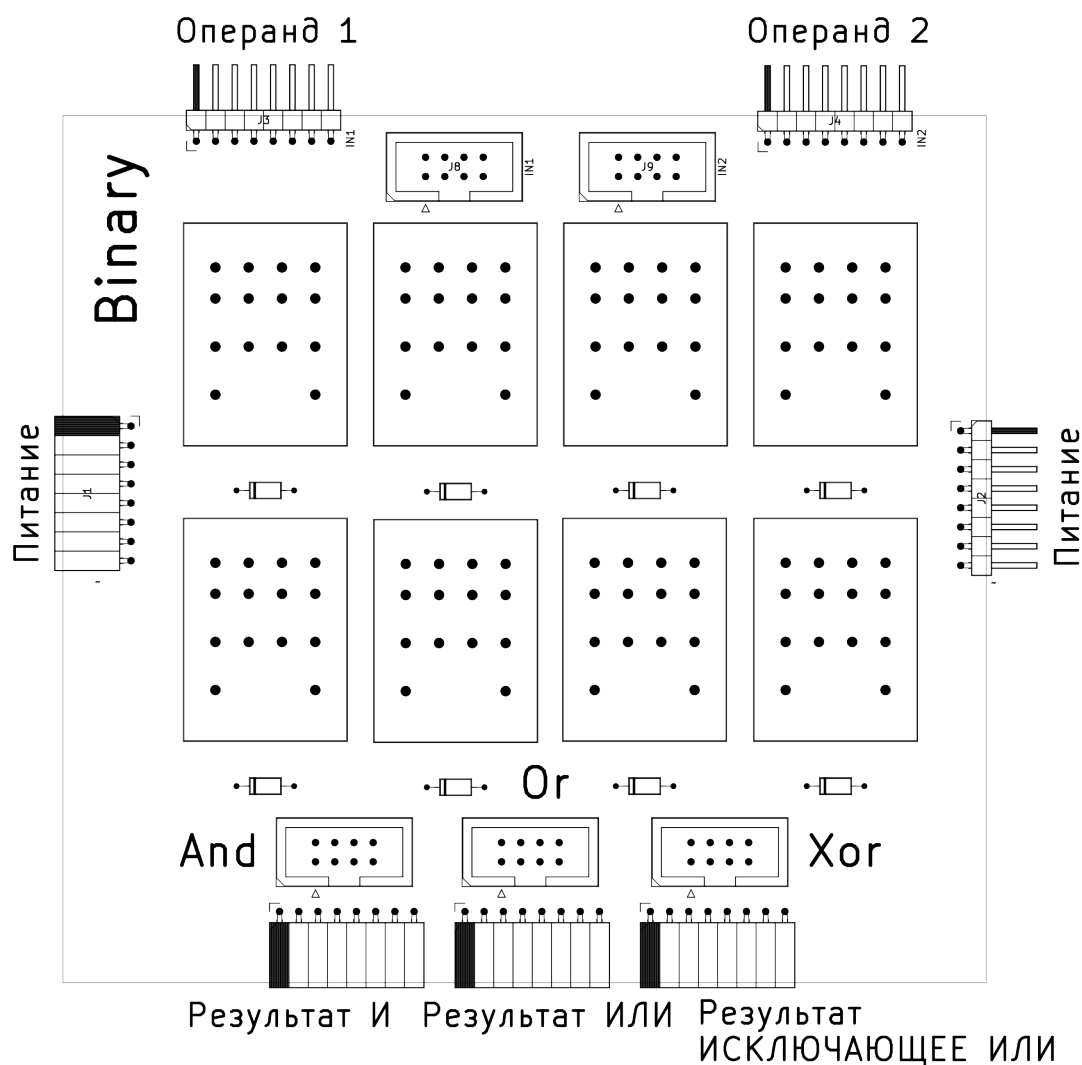
Такую логику проще всего реализовать с помощью двух переключающих контактов:



Благодаря перекрёстному соединению переключателей проводниками, сигнал на выходе *C* появляется только тогда, когда переключатели на реле находятся в противоположных положениях.



## 4.6 Бинарные логические операции



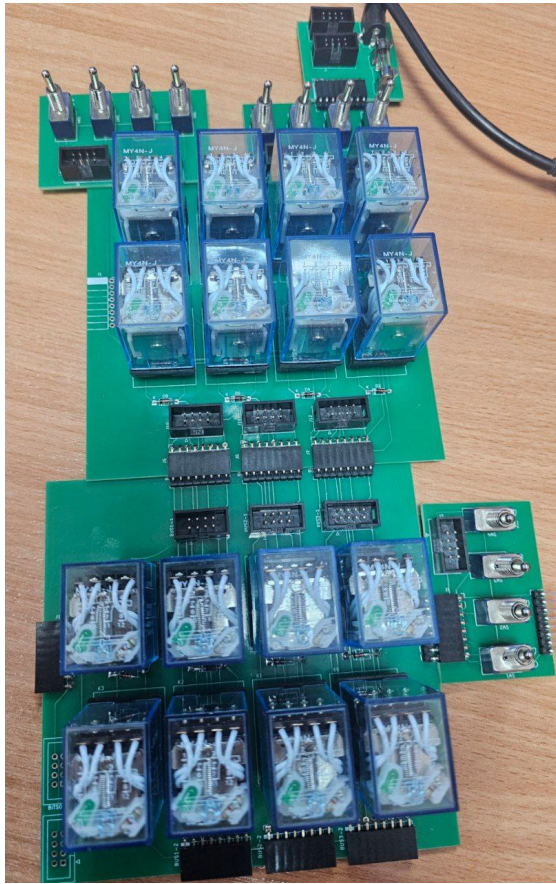
Модуль логических операций поддерживает вычисление AND, OR и XOR. У модуля есть два четырёхбитных входа и три выхода. Каждый выход отвечает за одну операцию.

### 4.6.1 Подготовка

1. Как могла бы выглядеть схема для выполнения операции XOR?

### 4.6.2 Практикум

Ко входам модуля подключаются два модуля с тумблерами, а к выходам — регистр, куда будет записываться результат.



1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать на тумблерах первого операнда значение 1100.
3. Набрать на тумблерах второго операнда значение 1010.
4. Подключить выходной регистр к шине 1. Убедиться, что в него записалось значение 1000 (AND).
5. Отключить регистр от шины, сбросить его значение.
6. Подключить выходной регистр к шине 2. Убедиться, что в него записалось значение 1110 (OR).
7. Отключить регистр от шины, сбросить его значение.
8. Подключить выходной регистр к шине 3. Убедиться, что в него записалось значение 0110 (XOR).

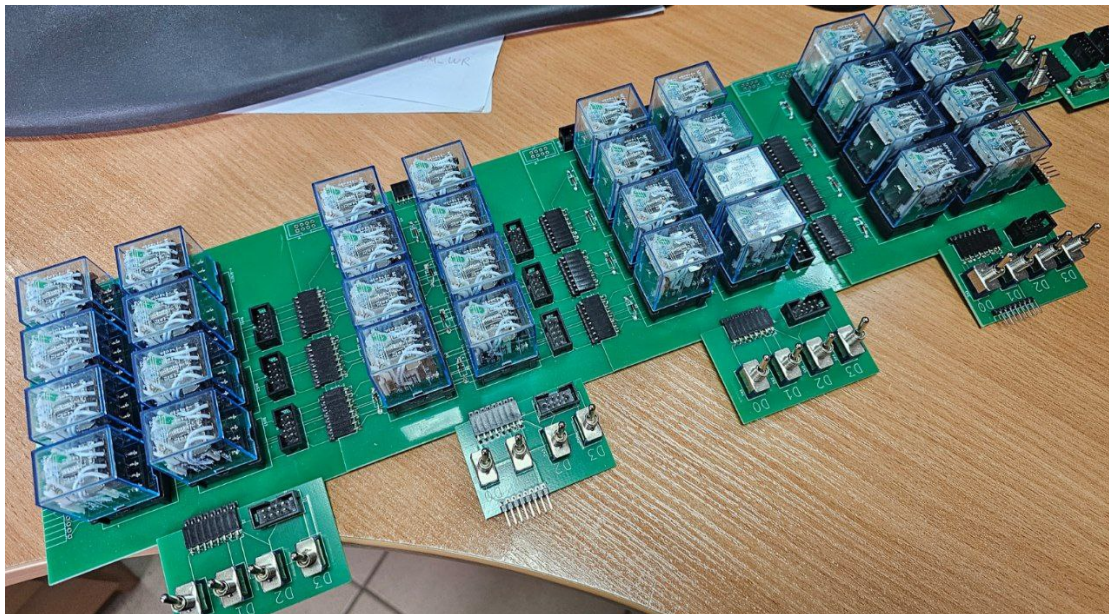
## 4.7 Шина и регистровый файл

Несколько регистров можно соединить в регистровый файл. У каждого из регистров есть сигналы выборки на одну из трёх шин.

Если два регистра подключены к одной шине одновременно, то значения одного будут копироваться в другой. Если точнее, включённые биты включают аналогичные в другом регистре, то есть копирование возможно в обе стороны одновременно.

Нулевые биты при этом копироваться не могут. Для записи нулей регистр необходимо сбросить.

#### 4.7.1 Практикум



Запись в регистры:

1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать значение на тумблерах, подключённых к шине данных 1.
3. Подключить с помощью тумблера регистр к шине 1. Убедиться, что в него записалось набранное значение.
4. Отключить регистр от шины.
5. Подключить другой регистр к шине 1. Убедиться, что в него записалось набранное значение.

Копирование значения:

1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Подключить регистр с ненулевыми битами к шине 2.
3. Подключить пустой регистр к шине 2. убедиться, что он получил такое же значение, что и в первом регистре.
4. Отключить все управляющие сигналы.
5. Аналогично проверить шину 3.

## 4.8 Арифметические операции

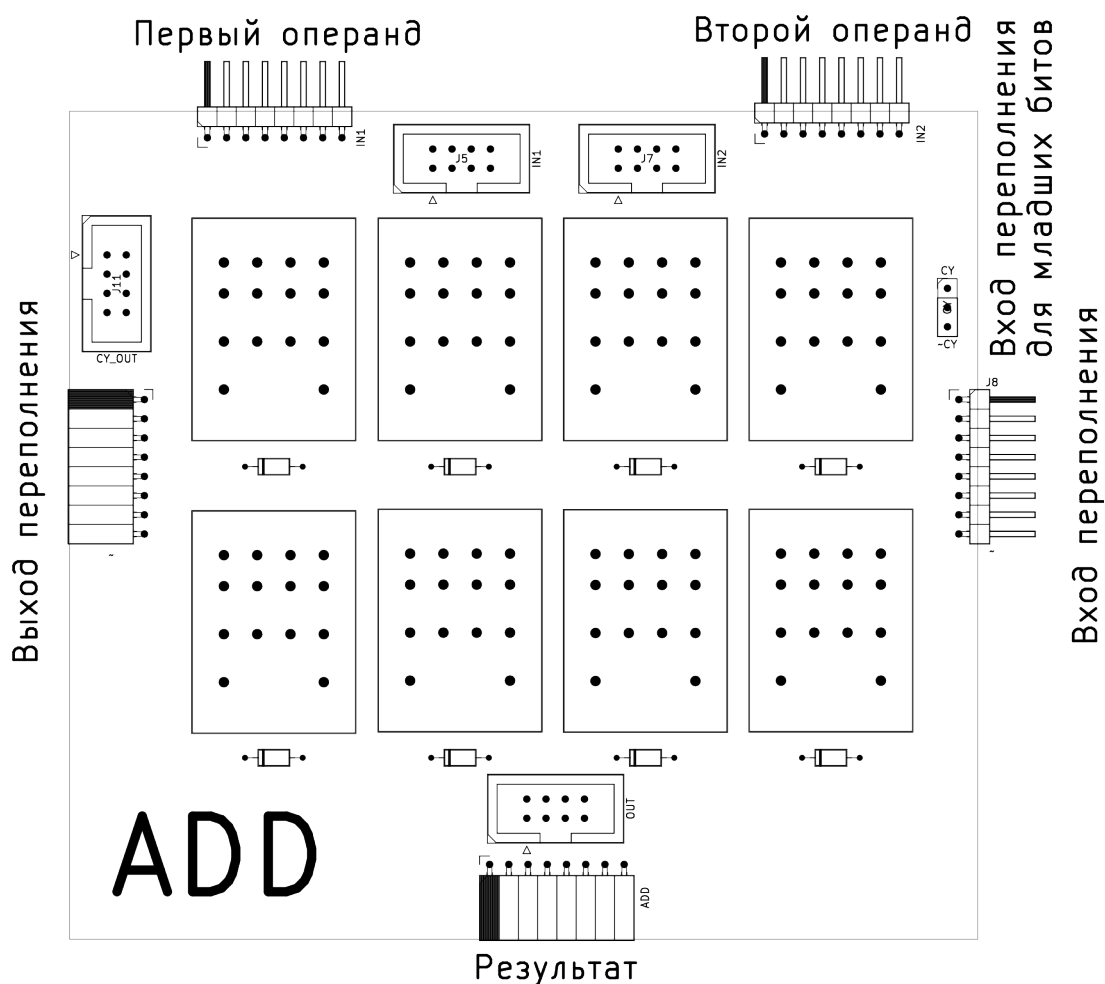
### 4.9 Сложение

Чтобы складывать числа, сначала нужно научиться складывать отдельные биты. Сумма двух битов может дать результат  $0_2$ ,  $1_2$  или  $10_2$ . То есть при сложении получается уже двухбитовое число.

Схему сложения удобнее всего строить из однотипных компонентов, складывающих фиксированное количество битов. На выходе такого компонента будет результат сложения, а также бит переполнения (переноса). Для каскадирования таких модулей нужно также иметь возможность подавать на вход перенос от сумматоров младших битов.

Таким образом, сумматор получает на вход бит переноса и два числа, а на выходе у него тоже бит переноса и число-сумма.

### 4.10 Сумматор



Сумматор складывает два четырёхбитных числа, один бит переноса и выдаёт четырёх-

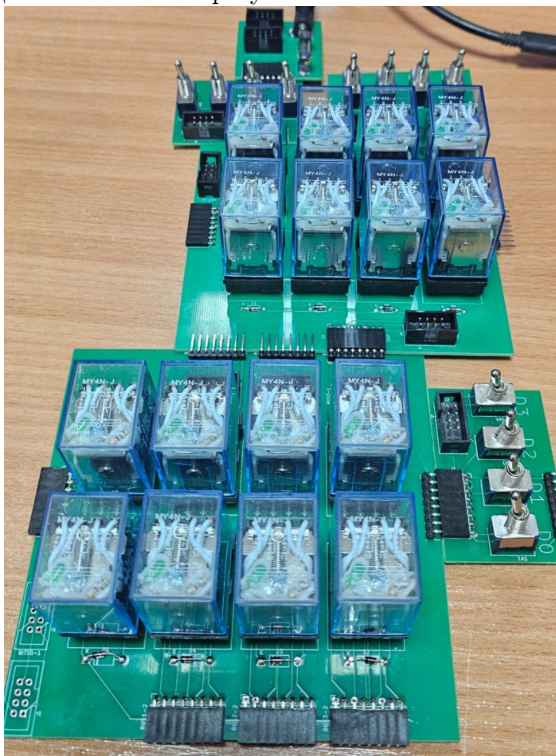
битное число и бит переноса. У модуля есть два четырёхбитный вход и один выход. Каждый выход отвечает за одну операцию.

#### 4.10.1 Подготовка

1. Придумайте, как можно было бы составить схему из реле, чтобы вычислять сумму однобитовых чисел.
2. Как можно использовать предыдущую схему для вычисления суммы двухбитовых чисел?

#### 4.10.2 Практикум

Ко входам модуля подключаются два модуля с тумблерами, а к выходам — регистр, куда будет записываться результат.



1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Установить перемычку для подачи сигнала на *CY*.
3. Набрать на тумблерах первого операнда значение 0011 (число 3).
4. Набрать на тумблерах второго операнда значение 1010 (число 10).
5. Подключить выходной регистр к шине 3. Убедиться, что в него записалось значение 1101 (число 13).
6. Отключить регистр от шины, сбросить его значение.

7. Установить переключку для подачи сигнала на *CY*.
8. Подключить выходной регистр к шине 3. Убедиться, что в него записалось значение 1110 (число 14).

### 4.10.3 Задачи

1. Собрать устройство для сложения значения из регистра с константой, набранной на тумблерах. Должна быть предусмотрена запись результата обратно в регистр. Далее управлять сигналами таким образом, чтобы к регистру последовательно прибавлялась единица, пока он не достигнет значения 1111.

## 4.11 Вычитание

### 4.11.1 Вычитание через сложение с дополнительным обратным кодом

Чтобы вычесть из одного числа другое, можно вычитаемое представить в дополнительном обратном коде, а затем сложить это число с уменьшаемым.

Число в дополнительном обратном коде получается, если сначала инвертировать биты исходного числа, а затем прибавить к нему единицу.

Например, для числа  $3 = 0011$  инверсия будет выглядеть, как 1100, а дополнительный обратный код, как 1101.

### Практикум

Собрать схему для сложения.

1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Установить переключку для подачи сигнала на *CY*.
3. Набрать на тумблерах первого операнда значение 1010 (число 10).
4. Набрать на тумблерах второго операнда значение 1101 (число  $-3$ ).
5. Подключить выходной регистр к шине 3. Убедиться, что в него записалось значение 0111 (число 7).

### Задачи

1. Выполните деление в столбик числа 14 на 3 с помощью последовательности вычитаний. Записывайте промежуточные результаты на бумаге.
2. Сделайте то же самое, только сохраняйте все промежуточные результаты в разных регистрах регистрового файла.

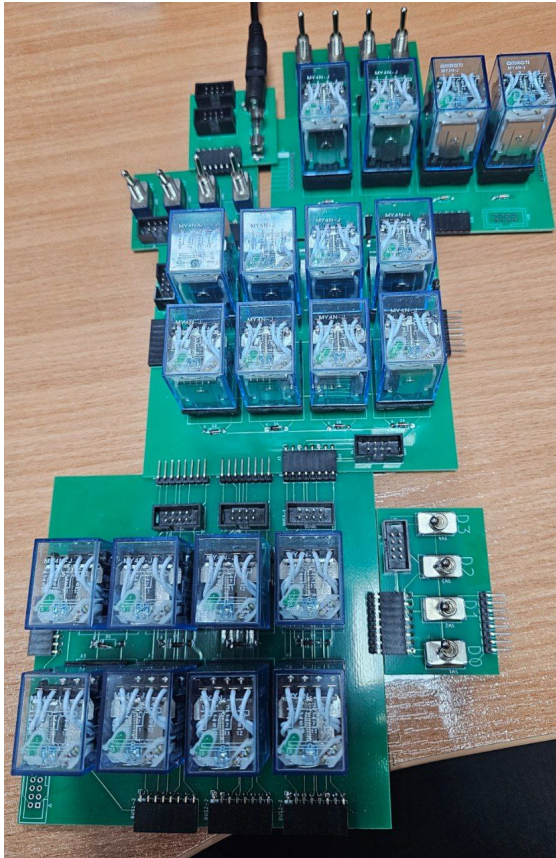
### 4.11.2 Вычитание с помощью сумматора и инвертора

Вычитание можно делать с помощью сумматора. Чтобы на входе из операнда получался дополнительный обратный код, сначала нужно преобразовать его с помощью инвертора, а затем прибавить 1, включив вход переноса в сумматоре.



**Практикум**

Собрать схему для сложения, а затем добавить между тумблерами со вторым операндом инвертор (выход NOT блока унарной логики):



1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Установить перемычку для подачи сигнала на СУ.
3. Набрать на тумблерах первого операнда значение 1010 (число 10).
4. Набрать на тумблерах второго операнда значение 0011 (число 3).
5. Подключить выходной регистр к шине 3. Убедиться, что в него записалось значение 0111 (число 7).





## Глава 5

# Калькулятор

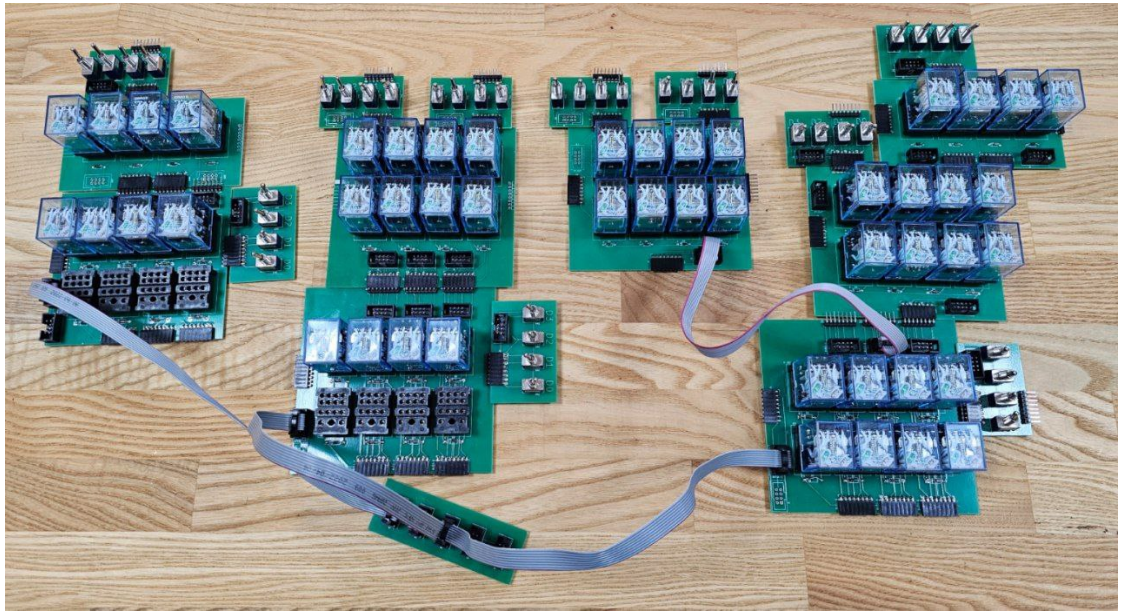
### 5.1 Калькулятор для 7 операций

Все вычислители можно соединить с одним и тем же регистром, как хранилищем результата, чтобы получить простейший калькулятор. Доступны следующие операции:

1. Инверсия
2. Сдвиг вправо
3. Побитовое И
4. Побитовое ИЛИ
5. Исключающее ИЛИ
6. Сложение
7. Вычитание

#### Практикум

Уже проверенные модули для разных операций соединяются вместе. Для этого используются несколько мультиплексоров (шинных формирователей) на платах регистров. На этих платах не установлены реле для хранения битов. Вместо этого шины подключаются к одному и тому же регистру. Так в него можно записывать любой из 7 результатов вычислений.



Любую из операций можно выполнить так:

1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать входные данные для нужной операции.
3. Подключить выход нужного модуля к регистру тумблером.
4. Наблюдать результаты вычислений.
5. Сбросить значение регистра.

## 5.2 Расширение вычислений до восьми бит

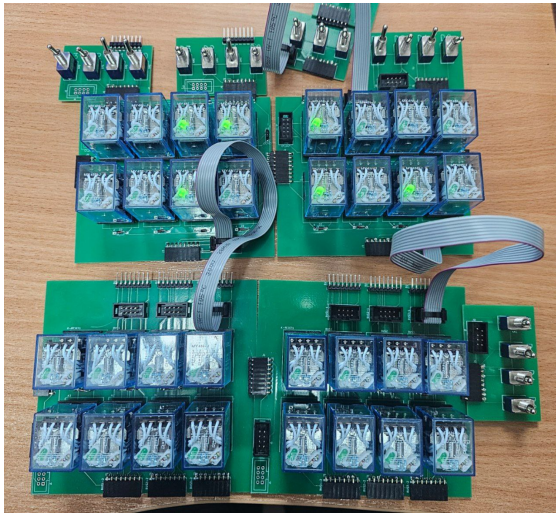
У регистров и вычислительных модулей справа и слева есть разъёмы для расширения рядности.

Для регистров через эти разъёмы передаются сигналы сброса и подключения к шинам. Поэтому один набор тумблеров может использоваться для двух четырёхбитных плат-регистров, если они соединены в один восьмибитный регистр.

Для вычислительных модулей через боковые разъёмы передаются сигналы переноса (в случае сдвига и сложения).

### Практикум

Соединить два регистра и два сумматора. Шина 3 регистров подключается к сумматору. У правого (младшего) сумматора входящий перенос переключкой устанавливается в 0. У левого (старшего) сумматора переключка для переноса убирается, потому что сигнал переноса приходит от младших битов (из правого сумматора).



1. Отключить все управляющие сигналы.
2. Набрать входные данные 00111001 и 00101001.
3. Подключить выход сумматора к регистру тумблером  $D3$ .
4. Наблюдать результат вычислений 01100010.



## Глава 6

# Элементы компьютера

6.1 Дешифратор

6.2 ПЗУ

6.3 Декодер инструкций



## Глава 7

# Компьютер