Лабораторная работа № 3.

Тема: Синтез последовательностных схем. Счетчики.

1. Цель работы:

Изучить принципы синтеза последовательных схем на примере синтеза недвоичного счѐтчика.

2. Программа работы.

2.1. Синтезировать недвоичный вычитающий счѐтчик с коэффициентом пересчѐта, равным 5 и начертить его схему.
2.2. Ввести схему счѐтчика и проверить ее работу.
2.3. Изучить принцип работы счѐтчика на ИС К155ИЕ6 (SN74192).
2.4. Начертить схему исследования счѐтчика.
2.5. Исследовать работу счѐтчика.
2.6. На базе данного счѐтчика синтезировать счѐтчик с коэффициентом пересчѐта, равным 6.
2.7. Исследовать работу синтезированного счѐтчика.

3. Краткие теоретические сведения.

Последовательностные устройства обладают свойством запоминания информации, поскольку строятся на элементарных автоматах с памятью (триггерах). Количество элементарных автоматов *m* с памятью, необходимое для кодирования всех состояний *M* последовательностного автомата, определяется соотношением:

$$m = \left| \log_2 M \right|$$

Значение *m* называют объѐмом памяти последовательностного автомата.

Элементарными автоматами с памятью или триггерами принято называть автоматы, которые характеризуются свойствами:

- число входных переменных – не более трѐх (входные переменные принято обозначать специальными символами в соответствии с функциями, выполняемыми триггерами); в это число не входит тактовый вход, на который подаются синхронизирующие импульсы, фиксирующие смену тактов работы устройства;
- число внутренних состояний равно двум, чему соответствует одна внутренняя переменная (последнюю принято обозначать символом *Q*);
- число выходных переменных – одна (*y*), причѐм значение у совпадает со значением *Q* (т.е. функция выхода *y*=*Q*); обычно в триггерах имеется возможность наряду со значением *Q* получать инверсную переменную $\overline{Q}$;
- функции переходов, называемые характеристическими уравнениями $Q^{t+1}=Q(x^t,Q^t)$, являются полными.

Далее рассматриваются наиболее употребляемые из триггеров.

Триггер *R-S* типа представляет собой элементарный последовательностный автомат с двумя входами *R* и *S*, функционирующий в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1.

Такт *t*		Q^{t+1}	
R^t	S^t	Q^t	
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	0	x
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	1	x

В триггерах *R-S* типа одновременная подача единичных значений входных переменных *R* и *S* недопустима (ведѐт к появлению критических состояний). В строчках таблицы переходов триггера (таблица 1), соответствующих $R^t = S^t = 1$ содержится знак неопределѐнности значения Q^{t+1}.

Характеристическое уравнение *R-S* триггера представляется в следующей минимальной форме:

$$Q^{t+1} = S^t + \overline{R}^t \cdot Q^t$$

или, с учѐтом закона инверсии (де Моргана):

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{S}^t \cdot \overline{\overline{R}^t Q^t}}$$

Графическое обозначение такого триггера приведено на рис. 1а, такой триггер называют асинхронным *R-S* триггером.

Тактируемый *R-S* триггер описывается уравнениями:

$$Q^{t+1} = S^t C^t + \overline{Q}^t \left(\overline{R}^t + C^t\right);$$

или

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{\overline{S}^t C^t} \cdot \overline{\overline{Q^t R^t} C^t}} \ .$$

Графическое обозначение тактируемого триггера приведено на рис. 1б.

В большинстве случаев на практике требуется определить комбинацию входных сигналов при заданном переходе триггера из одного состояния в другое. Такая задача возникает, например, при синтезе счѐтчиков, регистров и т.п.

Для решения этой задачи необходима характеристическая таблица триггера (табл.2).

Таблица 2.

$Q^t \to Q^{t+1}$	R^t	S^t
00	*	0
01	0	1
10	1	0
11	0	*

Триггер *D*-типа относится к одновходовым триггерам. Характеристическое уравнение триггера, согласно таблице переходов (табл. 3), определяется соотношением:

$$Q^{t+1} = D^t Q^t + D^t \overline{Q^t} = D^t$$

Из уравнения следует, что триггер в момент времени *t+1* принимает состояние, соответствующее значению переменной на *D*-входе в момент времени *t*. Таблица 4 является характеристической таблицей для *D*-триггера.

Таблица 3.

Такт *t*		Q^{t+1}
D^t	Q^t	
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	1

Таблица 4.

$Q^t \to Q^{t+1}$	D^t
00	0
01	1
10	0
11	1

Характеристическое уравнение тактируемого *D*-триггера записывается в виде:

$$Q^{t+1} = \overline{C}^t Q^t + C^t D^t$$

Из уравнения следует, что при наличии тактирующего сигнала (*C=1*) триггер переходит в состояние $Q^{t+1} = D^t$, а при отсутствии тактирующего сигнала (*C=0*) триггер сохраняет предыдущее состояние. Графическое обозначение тактируемого *D*-триггера приведено на рис.2.

Триггер *J-K* типа относится к двухвходовым устройствам, функционирующим в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5.

Такт t			Q^{t+1}
J^t	K^t	Q^t	
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	1	0

Из таблицы 5 следует, что при комбинации сигналов *J* и *K*, соответствующей конъюнкции *J*□*K=1*, триггер инвертирует предыдущее состояние (т.е. при $J{\cdot}K=1$, $Q^{t+1}=\overline{Q}^{t}$). В остальных случаях *J-K* триггер функционирует как *R-S*-триггер. При этом вход *J* эквивалентен входу *S*, а вход *K* – входу *R*. Функционирование *J-K* триггера описывается характеристическим уравнением:

$$Q^{t+1} = J^{t}\overline{Q^{t}} + \overline{K^{t}}Q^{t}$$

Таблица 6 является характеристической таблицей для *J-K* -триггера.

Таблица 6.

$Q^t \to Q^{t+1}$	J^t	K^t
00	0	*
01	1	*
10	*	1
11	*	0

В схемотехнике наибольшее распространение получили тактируемые *J-K* триггеры. Эти триггеры являются универсальными, поскольку коммутацией внешних выводов *J-K* триггер можно превратить в триггер, выполняющий функции других триггеров. Так, например, если в характеристическом уравнении для *J-K* триггера принять $J^t = D^t$ и $K^t = \overline{D}^t$, то в результате получим $Q^{t+1} = D^t$. Это выражение полностью совпадает с характеристическим уравнением для *D*-триггера. Условное обозначение тактируемого *J-K* триггера приведено на рис.3.

Синтез синхронных последовательностных устройств выполняется исходя из заданной (таблично или алгебраически) системы функций выходов и переходов, в предположении, что элементная база определена (заданы разновидности применяемых триггеров и комбинационных элементов). Составление уравнений выходов и переходов предполагает предварительное установление (на основании содержательного описания автомата) числа его внутренних состояний и кодирование последних наборами внутренних переменных.

При синтезе последовательностных автоматов принципиально новой задачей, в сравнении с синтезом комбинационных схем, является обеспечение переходов каждого триггера в соответствии с выполняемыми ими функциями в автомате. Такие переходы описываются уравнениями, получившими название прикладных уравнений триггеров.

С другой стороны, переходы каждого триггера определяются его характеристическим уравнением.

Совместное решение прикладных и характеристических уравнений можно осуществить алгебраически или с помощью таблиц переходов и соответствующих им карт Карно (диаграмм Вейча).

Метод карт Карно основан на представлении переключательных функций в виде прямоугольных таблиц с числом клеток, равным числу всевозможных наборов, т.е. 2^n. Каждая клетка диаграммы Вейча соответствует определѐнному набору и в неѐ вписывается значение функции (0 или 1), которая она принимает на данном наборе. В тоже время каждой клетке диаграммы соответствует конституента единицы. Специальная разметка столбцов и строк диаграммы и, следовательно, нумерация клеток, производится таким образом, что конституенты, соответствующие двум соседним клеткам, обязательно склеиваются по одной из переменных. Для переключательных функций двух, трѐх и четырѐх переменных разметка диаграммы показана на рис.4. Отметим, что в диаграмме для функции от трѐх переменных соседними следует считать также крайние клетки каждой строки, а в диаграмме для функции от четырѐх переменных соседними являются крайние клетки каждой строки и столбца. При большем числе переменных разметка диаграммы и правила склеивания несколько усложняются.

Минимизация переключательных функций начинается с заполнения диаграммы Вейча. Если на данном наборе функция равна единице, то в клетке, соответствующей данному набору, ставится единица; остальные клетки отмечаются нулями (что необязательно). В заполненной диаграмме обводят прямоугольными контурами все единицы. Число клеток в контуре должно равняться целой степени числа 2. Говорят, что контур покрывает 1,2,4,8 и т.д. клеток. Указанными контурами необходимо покрыть все единицы диаграммы; некоторые контуры могут содержать только одну клетку.

Каждому контуру соответствует логическое произведение. Изолированной единице (контуру, состоящему из одной клетки) соответствует произведение *n* переменных. Контуру из двух клеток соответствует произведение *n-1* переменных, причѐм исключается та переменная, которая входит в данный контур, как с инверсией, так и без неѐ. Если контур состоит из четырѐх единиц, то ему будет соответствовать произведение *n-2* переменных. В общем случае наличие единиц в 2^m соседних клетках позволяет исключить из соответствующего произведения *m* переменных. Следовательно, при образовании контуров надо стремиться к тому, чтобы количество контуров было возможно меньшим. При этом одни и те же клетки, заполненные единицами, могут входить в несколько контуров.

Рассмотрим последовательность синтеза автомата с помощью карт Карно на следующем примере.

Пусть требуется построить недвоичный счѐтчик с коэффициентом пересчѐта, равным $K_{сч}=3$. Такой счѐтчик строится на основе двух триггеров, т.к.:

$$m \geq \left| \log_2 K_{сч} \right| = \left| \log_2 3 \right| = 1.58$$

примем *m=2*.

Число избыточных состояний счѐтчика:

$$N = 2^m - K_{\tilde{n}\div} = 2^2 - 3 = 1$$

Из возможных состояний счѐтчика исключим, например, состояние Q_1Q_2. Тогда порядок изменения состояний счѐтчика будет следующим:

$$\overline{Q}_1\overline{Q}_2\ ;\ Q_1\overline{Q}_2\ ;\ \overline{Q}_1Q_2\ ;\ \overline{Q}_1\overline{Q}_2\ ;\ \overline{Q}_1Q_2 \quad \text{и т.д.}$$

Составим таблицу функционирования счѐтчика (см. табл.7), на основании которой составляем прикладные таблицы для каждого триггера счѐтчика (см. рис.5).

Таблица 7.

№ сост.	Q_1^t	Q_2^t	Q_1^{t+1}	Q_2^{t+1}
0	0	0	1	0
1	1	0	0	1
2	0	1	0	0

Прикладные таблицы отражают переход данного триггера из предыдущего состояния Q_i^t в последующее Q_i^{t+1}. Для составления прикладных таблиц в клетки карты, соответствующие номерам предыдущих состояний автомата, вписываются 2-разрядные двоичные числа, выражающие переход триггера $Q_i^t \rightarrow Q_i^{t+1}$ при изменении состояния автомата. В этих таблицах прочѐркнутая клетка соответствует исключѐнному состоянию счѐтчика Q_1Q_2.

В качестве элементной базы выберем триггеры *J-K* типа [К155ТВ1 (SN7472)]. На основании полученных прикладных таблиц и характеристической таблицы *J-K* триггера (табл.6) составляем карты Карно соответственно для *J-* (см. рис.6) и *K-* (см. рис.7) входов каждого триггера. Для этого 2-разрядные двоичные числа в прикладных таблицах заменяют соответствующими обобщѐнными значениями из клеток характеристической таблицы для каждого входа триггера. В результате получается набор карт Карно, отражающих значения логических функций на всех входах каждого триггера в зависимости от состояний счѐтчика. Из полученного набора карт Карно составляем логические уравнения входов триггеров, которые связывают между собой входы и выходы всех триггеров счѐтчика.

Учитывая, что в прочѐркнутых клетках, как и в клетках со звѐздочками, функция неопределена, при проведении контуров в картах Карно данные клетки можно доопределить по своему усмотрению.

Логические уравнения для *J* и *K* входов счѐтчика будут следующими:

$$J_1^t = \overline{Q}_2^t; \qquad K_1 = 1$$
$$J_2^t = Q_1^t; \qquad K_2 = 1.$$

Таким образом, для построения недвоичного синхронного счѐтчика с $K_{сч}=3$ необходимо *J*-вход первого триггера соединить с инверсным выходом второго триггера, а *J*-вход последнего соединить с прямым выходом первого триггера. На *K* - входы обоих триггеров необходимо подать постоянный потенциал соответствующий логической единице. Схема счѐтчика приведена на рис.8.

4. Методические указания по выполнению работы.

4.1. Синтезировать недвоичный вычитающий счётчик с коэффициентом пересчёта $K_{сч}= 5$. В таком счётчике номер последующего состояния должен быть на единицу меньше номера предыдущего состояния. Отразить процедуру синтеза в отчёте.

4.1.1. Зарисовать в отчѐт схему электрическую принципиальную по примеру рис.9.

4.1.2. Ввести схему счѐтчика и проверить ее работу.

4.1.3. Продемонстрировать правильность работы счѐтчика преподавателю.

4.2. Изучить принцип работы счѐтчика на ИС К155ИЕ6 (SN74192).

Счѐтчик на ИС К155ИЕ6 является синхронным, т.е. у него все триггеры переключаются одновременно от одного счѐтного импульса. Счѐтный разряд построен на основе типового *J-K* триггера. Направление счѐта определяется тем, на какой из счѐтных входов («+1» или «-1») будет подан импульс с активным низким уровнем. По положительному перепаду этого импульса (0→1) выполняется счѐт. В это время на другом счѐтном входе должен быть высокий уровень напряжения, т.е. лог. «1».

Условное обозначение К155ИЕ6 приведено на рис.10.

Входы *D1-D8* являются информационными и служат для параллельного ввода в счетчик по стробу $\overline{C}$ предварительной установочной информации.

Вход *R* предназначен для установки счѐтчика в «0» (исходное состояние). Установка в «0» выполняется при подаче на *R*-вход высокого уровня (лог. «1») независимо от состояний входов *D1-D8* и $\overline{C}$.

Выходы «*CR*» и «*BR*» являются выходами прямого и обратного переноса соответственно. Они используются для построения счѐтчиков с разрядностью, большей четырѐх. При этом вход «*CR*» подключается ко входу прямого счѐта «+1» следующего каскада, а выход «*BR*» – ко входу обратного счѐта «-1» этого каскада.

4.2.1. Зарисовать в отчѐт схему показанную на рис.11.

4.2.2. Ввести схему и проверить ее работу, для чего:

- по *R*-входу установить счѐтчик в «0»;
- по $\underline{C}$ - и *D*-входам записать в счѐтчик число «5»;
- подавая на входы «+1» и «-1» счѐтные импульсы, убедиться в правильности функционирования счѐтчика.
- 4.2.3. Исследовать работу счѐтчика при суммировании в динамике, т.е. подключить его вход «+1» к выходу функционального генератора.

Подключить входы логического анализатора к выходам триггеров первого (1), второго (2), третьего (4) и четвѐртого (8) разрядов счѐтчика. Зарисовать осциллограммы сигналов на выходах счѐтчика в последовательности, показанной на рис.12.

4.3. На базе ИС К155ИЕ6 сконструировать суммирующий счѐтчик с $K_{сч}=6$. Для этого необходимо синтезировать дешифратор, распознающий на счѐтчике число *6*, представляемое в двоичной системе кодом «0110».

4.3.1. Синтезировать дешифратор состояния «0110». Отразить процедуру синтеза в отчѐте.

4.3.2. Зарисовать в отчѐт схему электрическую принципиальную сконструированного счѐтчика.

4.3.3. Видоизменить схему рис.11.

4.3.4. Продемонстрировать преподавателю правильность работы сконструированного счѐтчика.

5. Содержание отчѐта.

5.1. Описание процедур синтеза схем.
5.2. Схемы синтезированных устройств.
5.3. Осциллограммы.
5.4. Выводы.

6. Контрольные вопросы.

6.1. Перечислите типы триггеров, которые вы знаете. Нарисуйте их условное обозначение.
6.2. Сколько клеток может покрывать контур в диаграмме Вейча?
6.3. Сколько триггеров необходимо использовать для построения счѐтчика с $K_{сч}=7$?
6.4. Что такое недвоичный счѐтчик?
6.5. Что такое вычитающий счѐтчик?

Графическое обозначение *R-S* триггера: а) асинхронного и б) тактируемого

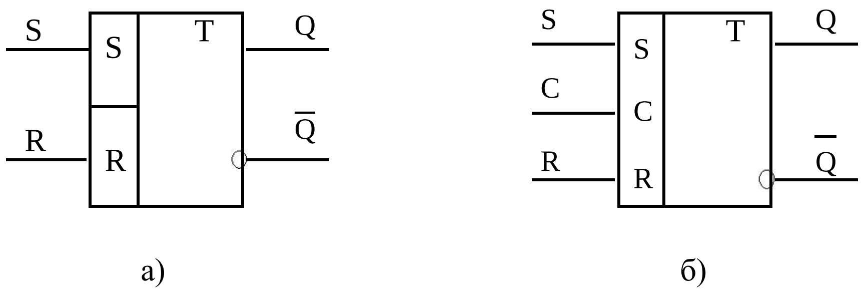


Рис.1.

Графическое изображение тактируемого *D*-триггера.

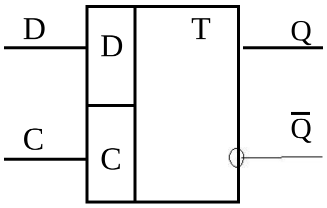


Рис. 2.

Условное обозначение тактируемого *J-K* триггера.

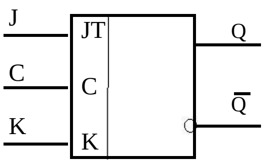


Рис. 3.

Диаграмма Вейча для функций двух, трѐх и четырѐх переменных.

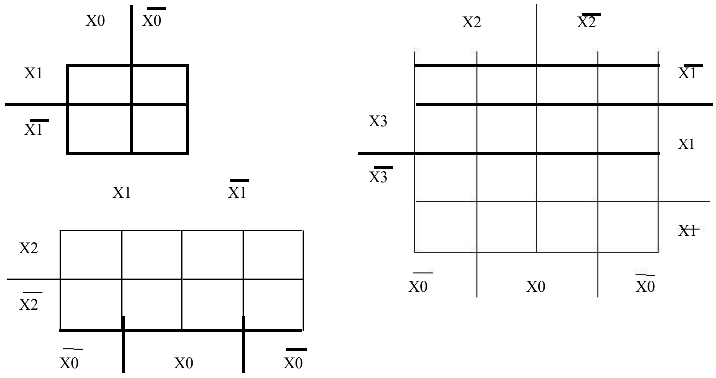


Рис.4.

Прикладные таблицы счѐтчика.

$Q_1^t \rightarrow Q_1^{t+1}$

	Q_2	$\overline{Q_2}$
Q_1	-	10
$\overline{Q_1}$	00	01

$Q_2^t \rightarrow Q_2^{t+1}$

	Q_2	$\overline{Q_2}$
Q_1	-	01
$\overline{Q_1}$	10	00

Рис.5.

Карты Карно для *J* входов.

J_1

	Q_2	$\overline{Q_2}$
Q_1	-	*
$\overline{Q_1}$	0	1

J_2

	Q_2	$\overline{Q_2}$
Q_1	-	1
$\overline{Q_1}$	*	0

Рис.6

.

Карты Карно для *K* входов.

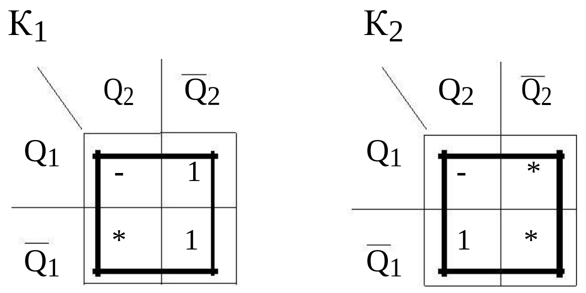


Рис.7.

Недвоичный счѐтчик с $K_{сч}=3$.

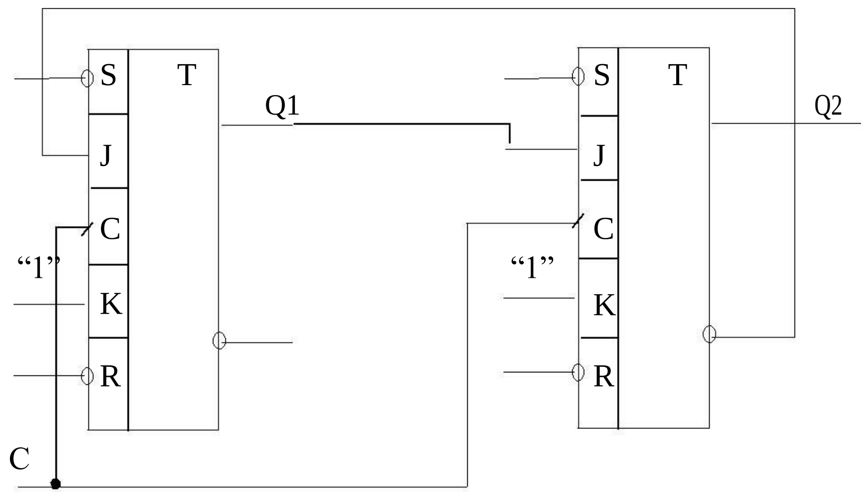


Рис.8.

Функциональная схема счѐтчика.

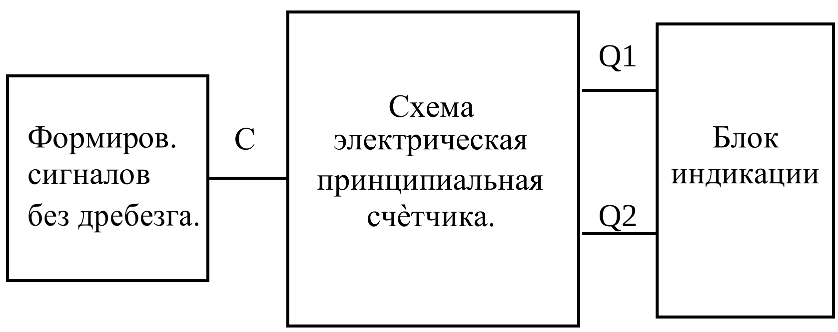
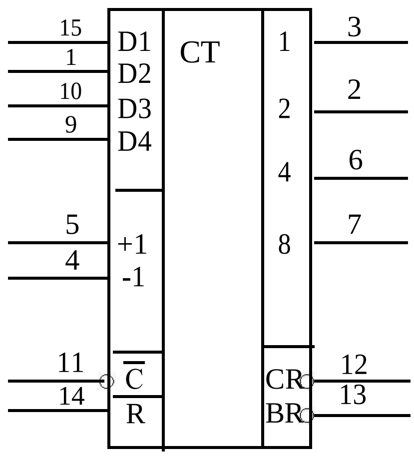


Рис.9.

Условное обозначение ИС К155ИЕ6.



вывод 8 -
общий вывод
16 - +5В

Рис.10.

Схема для исследований ИС К155ИЕ6.

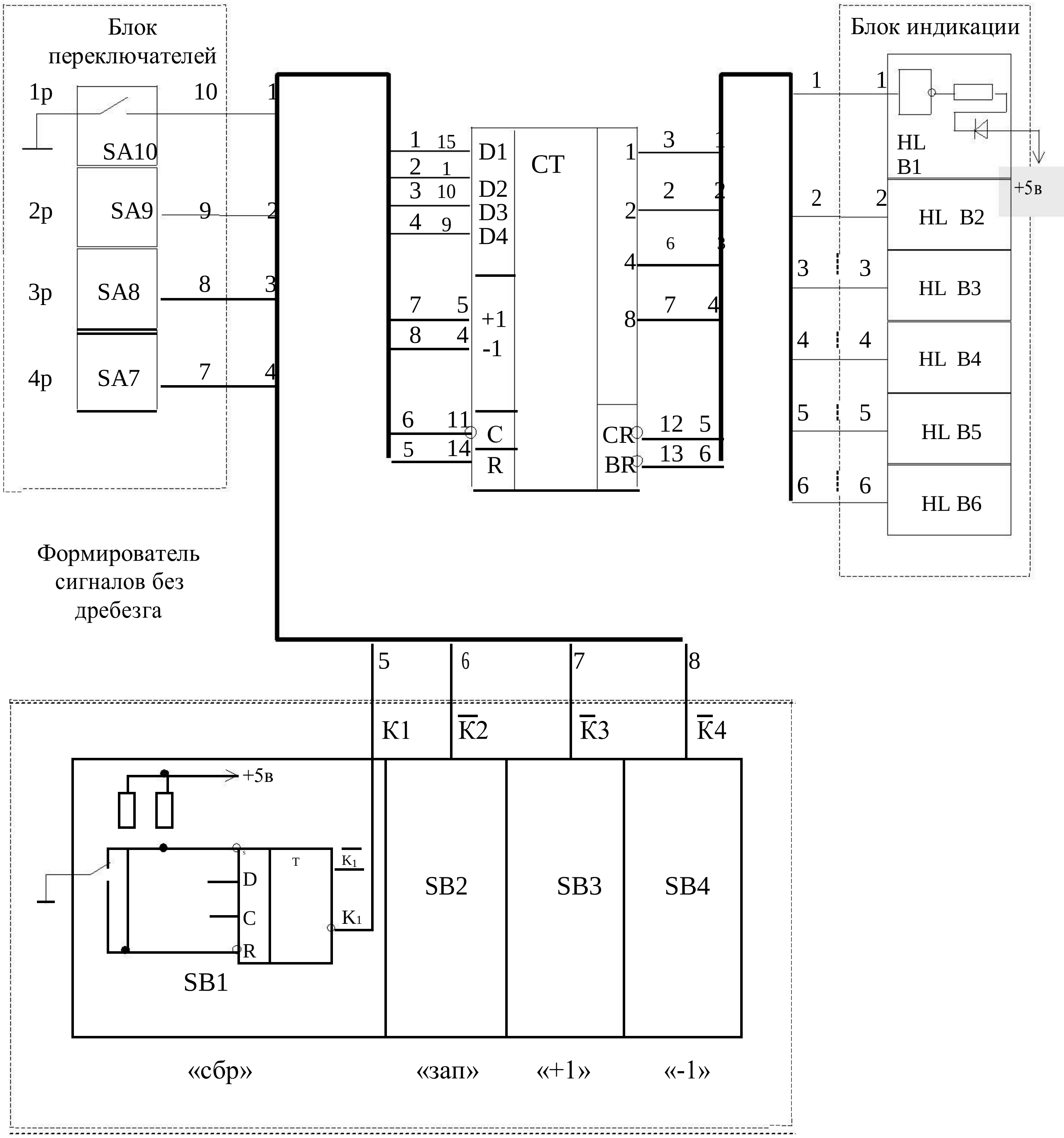


Рис. 11.

Последовательность снятия осциллограмм.

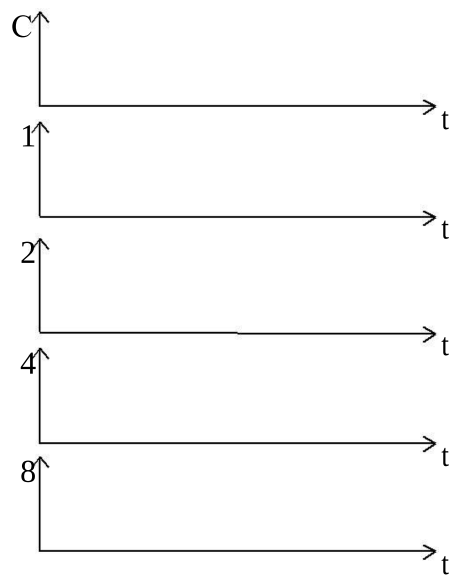


Рис.12.