

15
Ш-36



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Бела Шебештьен

1410

КОММУТАТОР ИМПУЛЬСНОГО ТОКА
НА ФЕРРИТАХ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

Дубна 1963

Бела Шебештьен

1410

КОММУТАТОР ИМПУЛЬСНОГО ТОКА
НА ФЕРРИТАХ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

21271, 48

Объединенный институт
передовых исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

1. Введение

В цифровой технике играют значительную роль феррит-диодные распределители тока ^{/1,2/}. Коммутатор импульсного тока является частным случаем этих систем ^{/2,3/}. В рамках этой работы обсуждается новое решение коммутатора тока. Перед описанием работы коммутатора кратко рассматриваются принцип действия и различные типы распределителей тока.

1.1 Системы распределителей тока

Распределитель тока является такой системой, назначение которой - выбор одной из n возможных ветвей и направление в нее тока одного импульсного источника. Выбор ветви происходит по информации, которая либо передается в систему перед каждым циклом работы распределителя, либо зафиксирована в системе. Распределители тока разбиваются на две группы: а/ непосредственные и б/ инверсные системы.

Работу непосредственной системы можно рассматривать на основании рисунка 1а. На рис. 1а показана система с 3 ветвями. Ферритовые сердечники магнитных элементов обладают прямоугольной петлей гистерезиса. На каждом сердечнике находится три обмотки w_1 , w_2 , w_3 . Из них w_1 называется обмоткой подготовки, w_2 - обмоткой опроса и w_3 - направляющей обмоткой.

Вначале каждый сердечник находится в состоянии 0. Циклу работы предшествует цикл подготовки. В течение этого цикла сердечник выбранной ветви перемагничивается в состояние 1. С окончанием цикла подготовки срабатывают одновременно генераторы G_1 и G_2 . Под действием генератора G_1 подготовленный сердечник выполняет переход $1 \rightarrow 0$. При этом в его направляющей обмотке индуцируется напряжение, которое запирает все диоды, за исключением выбранной ветви. Таким образом, ток генератора G_2 проходит полностью через выбранную ветвь. С окончанием цикла работы все сердечники снова находятся в первоначальном состоянии 0. Условие правильной работы распределителя заключается в том, что диоды невыбранных ветвей должны получать запирающее напряжение с начала и до конца коммутирующего импульса генератора G_2 .

Генераторы G_1 и G_2 можно заменить и отдельным генератором, как показано на рис. 1б.

Инверсный вариант распределителя тока показан на рис. 2. Вначале каждый сердечник находится в состоянии 0. Подготовка системы происходит таким же образом, как и в случае непосредственной системы, т.е. перемагничиванием сердечника выбранной ветви в состояние 1. Во время цикла работы срабатывают одновременно генераторы G_1 и G_2 . Но в отличие от непосредственной системы действие генератора опроса G_1 здесь таково, что сердечники должны совершить переход $0 \rightarrow 1$, так что во время цикла работы перемагничиваются сердечники невыбранных ветвей. Вследствие этого ток генератора G_2 протекает лишь через выбранную ветвь. После цикла работы инверсной системы следует дополнительный цикл, в течение которого все сердечники возвращаются в первоначальное состояние 0.

Инверсная система также может работать с одним генератором.

Два типа распределителей тока являются принципиально равноценными, но на практике инверсная система имеет большие преимущества. В литературе^{14/} имеются утверждения, что осуществление непосредственного распределителя тока при $n > 2$ затруднительно. Опыты, проведенные в связи с разработкой данного коммутатора, подтвердили эти утверждения.

Причины затруднений, появляющихся при практическом осуществлении непосредственной системы, заключаются в том, что при работе этой системы значительная мощность проходит через цепь опроса. Это обстоятельство является источником факторов, которые противодействуют эффекту распределения тока. А при работе инверсной системы через цепь опроса мощность не передается, и поэтому здесь нет вышеуказанного недостатка, так что эту систему можно без трудностей построить с любым числом ветвей.

1.2 Коммутаторы импульсного тока

Коммутатор тока является одним из вариантов систем распределителей тока, подготовка которого требуется только один раз /сброс/. Вслед за этим последовательность ветвей определяется логическим построением системы. Известное из литературы решение коммутатора^{12,3/} показано на рис. 3 в качестве примера с 6 ветвями тока. Коммутатор работает по принципу непосредственных систем. Для этого коммутатора характерно, что он включает на ветви 1-6 ток не одного, а двух генераторов - А и Б. Генераторы работают поочередно. Действие генераторов таково, что они через обмотку w_2 вынуждают сердечники на переход $1 \rightarrow 0$, а через обмотку w_1 - на переход $0 \rightarrow 1$.

Во время сброса сердечник, находящийся на пересечении ветви 1 и горизонтальной шины генератора А, перемагничивается в состояние 1, а остальные серд-

Детчики - в состоянии 0. Первым срабатывает генератор А, и сердечник, находившийся в состоянии 1, совершает переход $1 \rightarrow 0$. При этом в обмотке w_3 этого сердечника индуцируется напряжение такой полярности и величины, что диоды всех ветвей, за исключением 1-ой ветви, запираются, так что импульсный ток генератора А проходит полностью через ветвь 1. Этим током перемагничивается в состоянии 1 и первый сердечник, находящийся на шине генератора Б. Затем срабатывает генератор Б. На основании аналогичных рассуждений можно заключить, что его ток проходит через ветвь 2 и одновременно перемагничивает в состоянии 1 второй сердечник на шине генератора А и т.д.

После перехода $1 \rightarrow 0$ последнего сердечника коммутатора опять выбирается первый сердечник, и этим заканчивается полный цикл. Как видно, при наличии n ветвей система имеет n устойчивых состояний, и поэтому ее можно считать и кольцевой пересчетной схемой.

При использовании коммутатора такого типа /рис. 3/ надо принимать во внимание три свойства, которые могут оказаться причиной разных проблем:

- а/ его можно осуществлять только с четным числом ветвей тока;
- б/ для его работы необходимо применять, по крайней мере, два генератора;
- в/ он работает по принципу непосредственной системы.

2. Коммутатор тока инверсного типа

Для устранения указанных проблем разработана новая схема коммутатора. Этот коммутатор работает по принципу распределителей тока инверсного типа. Его можно осуществить с любым /значит, и с нечетным/ числом ветвей тока, и требуется только один генератор.

Схема коммутатора с 3 ветвями тока показана на рис. 4. К каждой ветви тока принадлежат два ферритовых сердечника. Сердечники, которые располагаются в верхнем ряду / с обозначением К на рис. 4/ сохраняют информацию, касающуюся выбора ветвей, а сердечники, находящиеся в нижнем ряду / с обозначением С /, выполняют функции при записи этой информации. Генератор G, с одной стороны, выполняет задачу опроса, а с другой стороны, обеспечивает током выбранную ветвь. Сердечники ряда С получают токовое смещение I_1 , которое определяет стационарное состояние этих сердечников.

Рассмотрим работу коммутатора. Пусть вначале сердечник K_1 находится в состоянии 1, а остальные - в состоянии 0. Первая / отрицательная на рис. 4/ часть импульса генератора вынуждает сердечники ряда К на переход $0 \rightarrow 1$. Так как сердечник K_1 находится уже в состоянии 1, перемагничиваются только

K_2 и K_3 . При этом в их обмотках w_3 индуцируется такое напряжение, которое запирает диоды D_1 , находящиеся в ветвях 2 и 3. Таким образом, ток генератора G проходит полностью через ветвь 1. Этим же током сердечник C_1 перебрасывается в состояние 1.

После цикла работы коммутатора следует дополнительный цикл. В течение этого цикла полярность импульса генератора меняется на противоположную /на рис. 4 - положительную/. Под действием генератора сердечники ряда K выполняют переход $1 \rightarrow 0$. Одновременно сердечник C_1 под действием смещения возвращается в состояние 0 и запрещает переход $1 \rightarrow 0$ сердечника K_2 . Запрещающее действие передается с обмотки w_{c2} на обмотку w_1 через цепь диодов D и Z . Таким образом, в конце дополнительного цикла все сердечники, за исключением K_2 находятся в состоянии 0.

Цель запрещения соответствует следующим условиям:

- а/ она всегда заперта во время цикла работы;
- б/ проводит во время дополнительного цикла только там, где сердечник в ряду C выполняет переход $1 \rightarrow 0$.

Эти условия можно обеспечить совместным применением обычного диода / D / и кремниевого стабилитрона (Z) так, как показано на рис. 4. Благодаря диодам, напряжение, появляющееся на обмотке w_1 , не может открыть цепь запрещения ни при переходе $0 \rightarrow 1$, ни при переходе $1 \rightarrow 0$ сердечников ряда K . Таким образом можно избежать явления "частичной передачи информации в обратном направлении" /5/.

3. Расчет элементов схемы

3.1 Основные обозначения

D_K	- средний диаметр ферритового кольца	см
S	- площадь прямоугольного сечения кольца	см ²
t	- время	мксек
τ	- время перемагничивания	мксек
u	- мгновенное значение напряжения	в
\bar{u}	- среднее значение напряжения импульса	в
U	- амплитуда идеального прямоугольного импульса и постоянное значение напряжения.	в
ΔB	- изменение индукции при полном переключении сердечника	гс
R	- сопротивление	ом
i	- мгновенное значение тока	а

\bar{i}	- среднее значение тока	а
I	- значение постоянного тока	а
H	- мгновенное значение напряженности магнитного поля	э
\bar{H}	- среднее значения напряженности магн. поля.	э
H_0	- динамическая коэрцитивная сила	э
S_w	- коэффициент переключения сердечника	э.мксек
w	- намагничивающая обмотка; число витков	
n	- число ветвей тока.	

При расчете для обозначения числа витков принят тот же символ, что и для обозначения обмоток. Напряжения и токи отличаются индексами обмоток.

Величины, соответствующие переходу $0 \rightarrow 1$, обозначены одним штрихом ('), а величины, соответствующие переходу $1 \rightarrow 0$, обозначены двумя штрихами ('').

3.2 Основные соотношения, исходные условия

Для расчетов использованы основные, известные из литературы, соотношения^{/6,7/}:

$$\left(\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u dt\right) \tau = \bar{u} \tau = w S \Delta B \cdot 10^{-2}, \quad /1/$$

$$\left(\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} H dt - H_0\right) \tau = (\bar{H} - H_0) \tau = S_w, \quad /2/$$

$$\bar{H} = \frac{1,256 w \bar{i}}{\pi \cdot D_k} = \frac{w \bar{i}}{2,5 D_k}. \quad /3/$$

Основной проблемой считается расчет запрещающей цепи. Условием правильного выполнения запрещающего процесса является то, что запрещаемый сердечник в конце дополнительного цикла был в состоянии $1'$. С точки зрения надежности работы коммутатора было бы более выгодным, но более строгим требование, по которому запрещаемый сердечник во время дополнительного цикла постоянно оставался бы в состоянии $1''$. Это условие выполняется в том случае, если

$$i_2'' w_2 < i_1'' w_1; \quad 0 < t < \tau''.$$

Для выполнения этого условия, прежде всего необходимо знать временные соотношения токов i_1'' и i_2'' . Аналитическое приближение функций i_1'' и i_2'' является достаточно сложным и приводит к значительному усложнению расчетов, поэтому выбран следующий путь:

а. В цепи опроса (w_2) ток ограничен сопротивлением R_2 .

Максимальная величина тока ($U_G = \text{const.}$)

$$i_{2M} = \frac{U_G}{R_2}. \quad /4/$$

б. Было проверено, при какой величине отношения i'_{2M} / \bar{i}'_2 напряжение u'_2 еще остается приблизительно постоянным ($u'_G = U'_G = const.$). Найденное значение:

$$\frac{i'_{2M}}{\bar{i}'_2} = 3 \quad /5/$$

в. В интересах надежности время запрещения τ_3 выбрано больше времени перехода $1 \rightarrow 0$ сердечников ряда К

$$\tau_3 = 1,2 \tau'' \quad /6/$$

г. Было проверено, при каком значении $w_1 \bar{i}''$ получается удовлетворительное запрещение, в данном случае, предполагая, что $\tau' < \tau'' < 2\tau'$ и $u''_G = U''_G = const.$ Найденно, что при значении

$$w_1 \bar{i}'' = \frac{w_2 i'_{2M}}{2} = \frac{w_2 U'_G}{2R_2} \quad /7/$$

получается надежное запрещение /см. /4//

д. Обеспечена возможность регулировки оптимального значения тока запрещения.

3.3 Параметры расчета

Известные исходные данные для расчета:

- 1/ величины тока коммутации ($\bar{i}_K = \bar{i}'_3 = \bar{i}'_{c1}$) и времени его прохождения (τ);
- 2/ величины нагрузки R_1 , через которую проходит \bar{i}_K ;
- 3/ числа ветвей (n).

Выбираемые перед расчетом данные и величины:

- 1/ марка ферритового кольца /этим определяются величины $S_w, \Delta B, H_0, D_K$);
- 2/ тип кремниевого стабилитрона (U_Z);
- 3/ величина импульсного напряжения U'_G ;
- 4/ время τ'' , соответствующее условию $\tau' \leq \tau'' \leq 2\tau'$;
- 5/ поперечное сечение ферритового сердечника /число колец/;
- 6/ сопротивление R_D диодной цепи Д - Z /оценка /.

В результате расчета имеем следующие параметры:

- 1/ число витков $w_1, w_2, w_3, w_{c1}, w_{c2}, w_{c3}$;
- 2/ величину R_2 ;
- 3/ величину U''_G ;
- 4/ величину тока смещения I_1 ;
- 5/ величину тока сброса I_0 .

В конце расчета надо проверить правильность выбора и в случае необходимости провести расчет с новыми значениями выбираемых величин.

3.4 Определение данных элементов ряда К

Основным условием работы коммутатора является то, чтобы в невыбранных ветвях было $U'_3 > U'_G$. Полагая значение $\kappa > 1$, получаем:

$$U'_3 = \kappa U'_G \quad /8/$$

Соответственно из условия 3.2/б:

$$U'_G - \bar{i}'_2 R_2 \approx const. \quad /9/$$

Пренебрегая напряжением, падающим на обмотке w_2 неперемагничивающего сердечника, получим, что

$$U'_2 = \frac{U'_G - i'_2 R_2}{n-1} \quad /10/$$

а на основании /4/, /5/ имеем

$$\bar{i}'_2 = \frac{1}{3} \frac{U'_G}{R_2} \quad /11/$$

Подставляя это значение \bar{i}'_2 в /10/, имеем:

$$U'_2 = \frac{2}{3} \frac{U'_G}{n-1} \quad /12/$$

Из /1/ и /8/ получается

$$w_3 = \kappa \frac{U'_G \tau' 10^2}{S \Delta B} \quad /13/$$

а из /1/ и /12/

$$w_2 = \frac{2}{3(n-1)} \frac{U'_G \tau' 10^2}{S \Delta B} \quad /14/$$

Для определения величины w_1 исходим из условия, что при переходе $1 \rightarrow 0$ должно быть $U''_1 < U_Z$. Полагая $0 < \alpha < 1$ имеем

$$U''_1 = \alpha U_Z \quad /15/$$

Принимая во внимание /1/ и /15/, имеем

$$w_1 = \alpha \frac{U_Z \tau'' 10^2}{S \Delta B} \quad /16/$$

Среднее значение тока во время цикла работы из отношений /2/ и /3/:

$$\bar{i}'_2 = \left(\frac{S_w}{\tau} + H_0 \right) \frac{2,5 D_K}{w_2} \quad /17/$$

значение сопротивления R_2 можно получить на основании /11/, /17/, и оно равно:

$$R_2 = \frac{U'_G w_2}{3 \left(\frac{S_w}{\tau} + H_0 \right) 2,5 D_K} \quad /18/$$

Исходя из принципа равенства площадей времени-напряжения, получаем, что

$$U_2'' = \frac{r'}{r''} U_2' \quad /19/$$

Пренебрегая напряжением, появляющимся на обмотке w_2 запрещающего элемента, имеем

$$U_G'' = (n-1)U_2'' + \bar{i}_2'' R_2 \quad /20/$$

На основании соотношений /2/, /3/, /10/, /18/ и /19/ получим из /20/ значение U_G'' , которое равно

$$U_G'' = \frac{r'}{r''} U_G' \left[1 + \frac{H_0}{3} \frac{\frac{r'}{r''} - 1}{S_{\Sigma} + H_0} \right] \quad /21/$$

Этим все неизвестные значения ряда К определены.

3.5 Определение данных элементов ряда С

Сердечники ряда С при запрещении перемагничиваются соответственно условиям постоянного напряжения, несмотря на то, что само перемагничивание происходит под действием постоянного тока смещения I_1 . Это легко доказывается из соображений, что

$$u_{c3}'' = U_Z + \bar{i}_{c3}'' R_D + u_1'' \quad /22/$$

где U_Z - рабочее напряжение кремниевого стабилитрона,
 \bar{i}_{c3}'' - ток запрещения, R_D - эквивалентное сопротивление цепи запрещения,
 u_1'' - напряжение, возникающее на обмотке w_1 запрещающего сердечника.

Оказывается, что практически

$$u_1'' \approx 0, \quad \bar{i}_{c3}'' R_D \ll U_Z, \quad \text{и поэтому } u_{c3}'' \approx U_{c3}'' = \text{const.} \quad /23/$$

Совместное действие тока смещения и тока нагрузки (i_{c3}'') приводит к тому, что временные соотношения напряженности магнитного поля соответствуют перемагничиванию при постоянном напряжении. Применяя выражения /23/, соотношение /22/ можно переписать в следующей форме:

$$U_{c3}'' = U_Z + \bar{i}_{c3}'' R_D \quad /24/$$

Принимая во внимание /1/, /7/ и то, что $\bar{i}_{c3}'' = \bar{i}_1''$, из /24/ получим

$$U_{c3}'' = \frac{w_2 S \Delta B}{r_3} 10^{-2} = U_Z + \frac{w_2}{w_1} \frac{R_D}{R_2} \frac{U_G}{2},$$

а затем /см. еще /6//

$$w_{c3} = \frac{1,2 r''}{S \Delta B} \left(U_Z + \frac{w_2}{w_1} \frac{R_D}{R_2} \frac{U_G}{2} \right) 10^2 \quad /25/$$

Величина тока смещения определяется на основании /2/ и /3/. Можно записать, что

$$(\Sigma \bar{H}'' - H_0) r_3' = (\Sigma \bar{H}' - H_0) r_3 = S_w, \quad /26/$$

$$\Sigma \bar{H}'' = \frac{w_{c2} I_1}{2,5 D_K} - \frac{w_{c3} \bar{i}_{c3}''}{2,5 D_K} \quad /27/$$

Из этих выражений с применением равенства $\bar{i}_{c3}'' = \bar{i}_1''$ и $r_3 = 1,2 r''$ получим, что

$$I_1 = \frac{2,5 D_K}{w_{c2}} \left[\frac{S_w}{1,2 r''} + H_0 + \frac{\bar{i}_1'' w_{c3}}{2,5 D_K} \right] \quad /28/$$

Значение величины w_{c2} можно свободно выбирать с точки зрения практических удобств. Подставив значение \bar{i}_1'' по 3,2/г, получим дальше, что

$$I_1 = \frac{2,5 D_K}{w_{c2}} \left(\frac{S_w}{1,2 r''} + H_0 \right) + \frac{w_2 w_{c3}}{w_1 w_{c2}} \frac{U_G}{2 R_2} \quad /29/$$

Выражение /28/ можно разделить на две части:

$$I_M = \frac{2,5 D_K}{w_{c2}} \left(\frac{S_w}{1,2 r''} + H_0 \right), \quad /30/$$

$$I_3 = \frac{w_{c3}}{w_{c2}} \bar{i}_1'', \quad /31/$$

т.е.

$$I_1 = I_M + I_3 \quad /32/$$

Из сказанного выше можно сделать следующие заключения:

- 1/ только в том случае получим ток запрещения, если $I_1 > I_M$;
- 2/ если $I_1 \gg I_M$, тогда $u_{c3}'' \approx U_Z$, и отсюда r_3 мало зависит от значения I_1 ;
- 3/ значения \bar{i}_1'' можно менять регулированием I_1 , при этом r_3 в значительной мере не меняется. Регулировкой I_1 можно достигнуть оптимального значения \bar{i}_1'' .

Далее определим w_{c1} . Можно записать, что

$$(\Sigma \bar{H}' - H_0) r' = (\Sigma \bar{H}' - H_0) r' = S_w, \quad /33/$$

$$\Sigma \bar{H}' = \frac{\bar{i}_{c1} w_{c1}}{2,5 D_K} - \frac{I_1 w_{c2}}{2,5 D_K} \quad /34/$$

Из выражений /33/, /34/, применяя равенство $\bar{i}_{c1} = \bar{i}_K$, где \bar{i}_K - ток коммутации /исходные данные/, имеем, что

$$w_{c1} = \frac{2,5 D_K}{\bar{i}_K} \left(\frac{S_w}{r'} + H_0 \right) + \frac{I_1}{\bar{i}_K} w_{c2} \quad /35/$$

Проверим правильность выбора U'_G . Нужно, чтобы

$$U'_G = \bar{u}'_{R_1} + \bar{u}'_{c_1}, \quad /36/$$

где

$$\bar{u}'_{R_1} = \bar{i}_K R_1, \quad /37/$$

$$\bar{u}'_{c_1} = \frac{w_{c_1} S \Delta B}{r} 10^{-2}. \quad /38/$$

и

Уравнение /36/ должно удовлетворяться в хорошем приближении.

Для сброса можно использовать ток смещения. Правильной выборкой w_{c_2} можно достигнуть такого значения I_1 , чтобы

$$(I_1 / 2,5 D_K) > 1,2 K_0.$$

В этом случае число витков обмотки сброса равно 1.

Схема разработанного коммутатора

На рис. 5 показана схема осуществленного коммутатора. Сопротивление и конденсатор R_3 составляют цепь задержки, цель которой задерживать ток коммутации относительно напряжения сброса. Этим повышается надежность работы коммутатора.

К коммутатору добавляется генератор, состоящий из двух частей. Первая часть генератора является блокинг-генератором /на транзисторе П16А/, работающим в ждущем режиме, а вторая часть - формирователем /на транзисторе П601/.

При расчете предполагалось, что форма импульса идеальна. В действительности это не так. В цикле работы форма импульса не прямоугольная, а трапециoidalная. Вследствие этого время перемангничивания сердечников ряда С при переходе 0 → 1 меньше чем τ' . В связи с этим обстоятельством была необходима некоторая коррекция расчета.

Импульс для дополнительного цикла в данном случае получаем, используя магнитную энергию, накопленную в течение цикла работы в индуктивности выходного трансформатора формирователя. Форма импульса дополнительного цикла не соответствует условию $u''_2 = const$, но, удовлетворяя условию $\bar{u}''_2 = U''_2$, коммутатор работает надежно.

На рис. 6а показана форма импульса, возникающего на сопротивлении R_1 . Как видно, на значительной части цикла работы коммутация удовлетворительна, а в конце цикла в некоторой степени ухудшается. Это явление объясняется с помощью рис. 6б, на котором показана форма импульса на обмотке w_2 . Как видно, в последней части цикла работы напряжение u'_2 падает, и вследствие этого напряжение u'_3 будет также уменьшаться.

На рис. 6в показана форма u'_{c_3} . Видно, что время перемангничивания 0 → 1 равно 1,8 мксек < $\tau' = 2,5$ мксек вследствие наличия времени нарастания и падения. Дальше видно, что условие $u''_{c_3} = const$ выполняется хорошо.

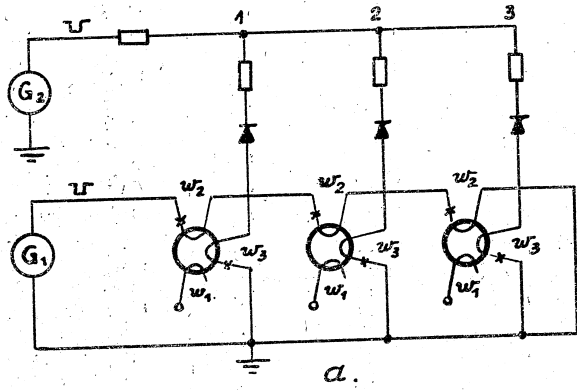
Данные ферритовых элементов приведены на рис. 5 снизу.

В заключение автор пользуется случаем, чтобы выразить благодарность проф. В.П. Джелепову за внимание, уделенное данной теме, кандидату физ.-мат. наук С.М. Коренченко за постоянную помощь и ценные советы при выполнении данной работы и младшему научному сотруднику И.Ф. Колпакову за подготовку рукописи к печати.

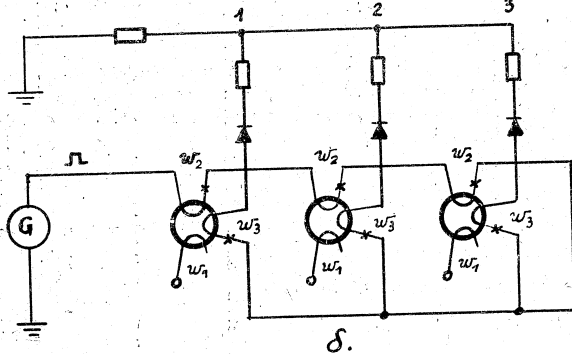
Л и т е р а т у р а

1. M.Karnaugh. Proc. IRE. May 1955, pp. 570-583.
2. J.A.Rajchman. Crane H.D. IRE Transact. EC. March 1957, pp. 21-30.
3. H.J.Andrews. The Proc. IRE. Part B. No 43. Jan. 1962, pp. 84-90.
4. Лаборатория электро моделирования. Магнитное оперативное запоминающее устройство с управлением на магнитных элементах - Мозу - 1000. Изд. Всесоюзного института научной и технической информации. Москва, 1958, стр. 12.
5. В.Ф. Белявский, Ю.М. Шамаев. Ферриты. Доклады Всесоюзного совещания по физике, физико-химическим свойствам ферритов и физическим основам их применения. Изд. АН БССР. Минск, 1960, стр. 623-636.
6. Ю.М. Шамаев, А.И. Пирогов, Г.Ф. Лисицын. Ферриты /см. 5/, стр. 409-422.
7. A.J.Meyerhoff. Digital Application of Magnetic Devices. John Wiley & Sons. New-York, 1960. London.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 сентября 1963 г.



a.



δ.

Рис. 1

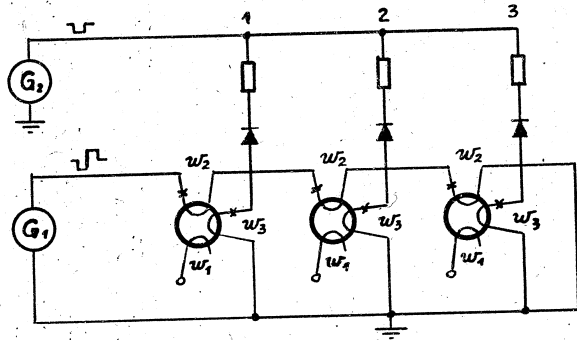


Рис. 2

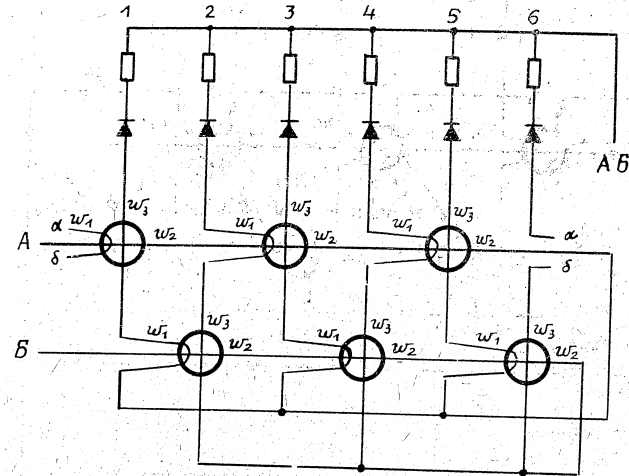


Рис. 3

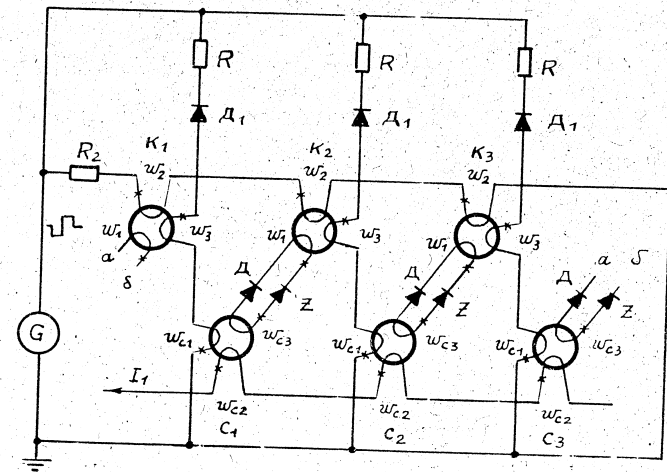
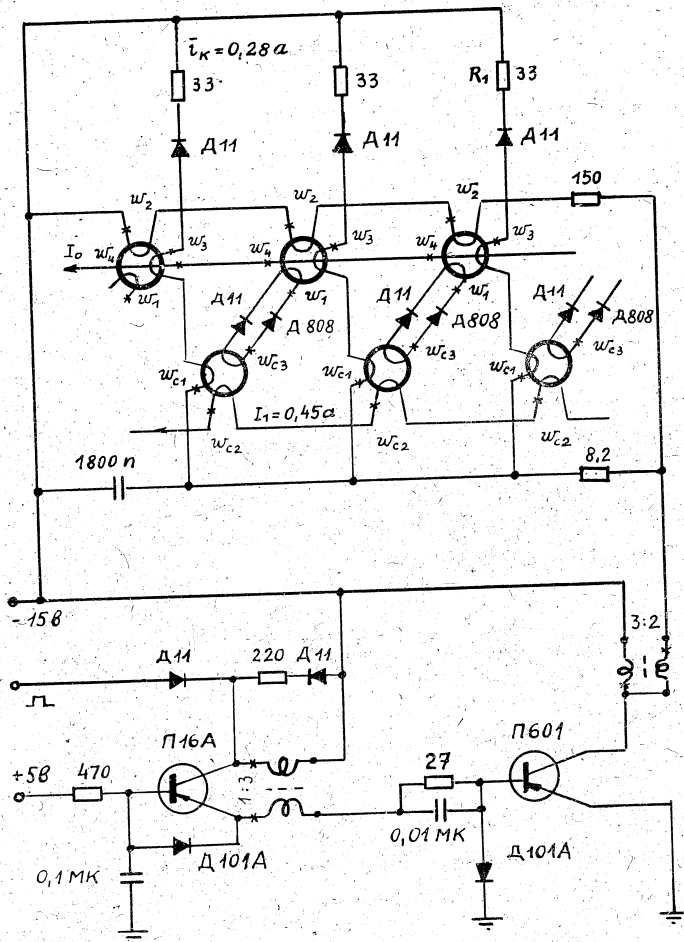


Рис. 4



Марка феррита ... К 272
 Размер одного кольца ... 4x2,5x1,5 мм
 Число колец одного магнитного элемента : 8
 $w_1 = 6$ $w_2 = 6$ $w_3 = 25$ $w_4 = 1$
 $w_{c1} = 7$ $w_{c2} = 3$ $w_{c3} = 16$

РИС. 5

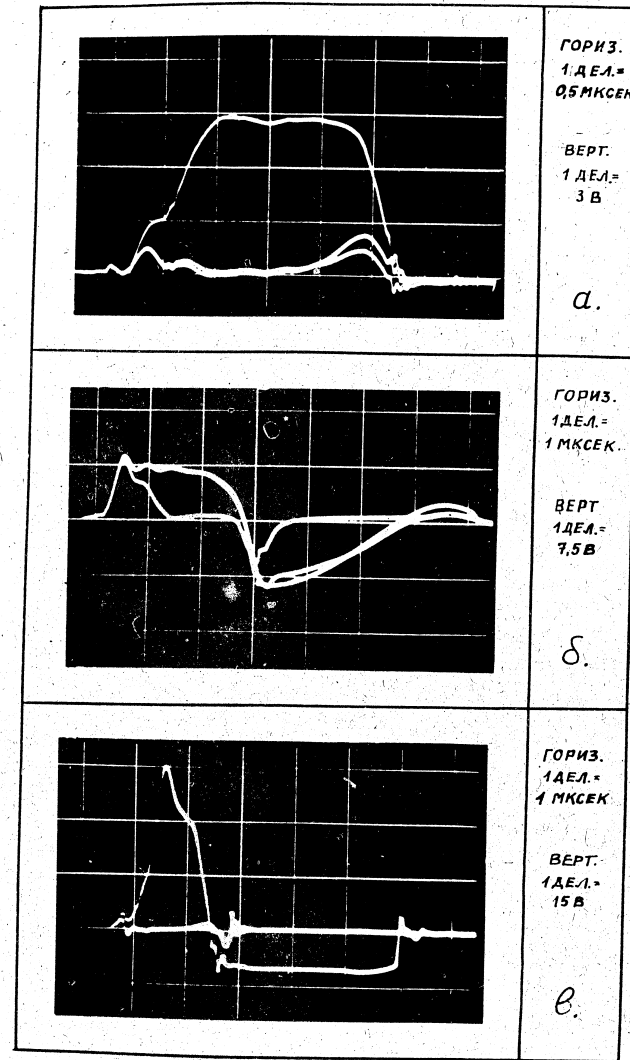


РИС. 6