

Автор ер.

К 56

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

---

Аспирант КОВАЛЬЧУК И. А.

На правах рукописи

**Исследование и разработка  
статических элементов памяти  
автоматических устройств,  
работающих в условиях перерывов  
энергопитания**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — доктор технических наук,  
профессор ПЛАТОНОВ П. Н.

ОДЕССА  
1967

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

Аспирант КОВАЛЬЧУК И. А.

На правах рукописи

Исследование и разработка  
статических элементов памяти  
автоматических устройств,  
работающих в условиях перерывов  
энергоснабжения

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — доктор технических наук,  
профессор ПЛАТОНОВ П. Н.

Переучет 1984

001281



ОДЕССА  
1967

Направляется Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы аспиранта Ковальчука Игоря Аркадьевича на тему «Исследование и разработка статических элементов памяти автоматических устройств, работающих в условиях перерывов энергоснабжения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

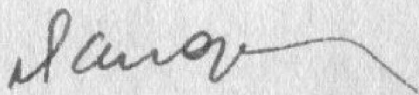
Защита намечается на „26“ мая 1967 г.

Ваши отзывы и замечания просим направлять в письменном виде в 2-х экземплярах, заверенные печатью, по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, № 112. Одесский технологический институт имени М. В. Ломоносова.

Работа выполнена на кафедре теоретических основ автоматизации Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

(инженер Л. Запорожец)



## ВВЕДЕНИЕ

Решение ряда народнохозяйственных задач связано с развитием новых средств автоматизации, в особенности электронных. Во многих автоматических устройствах требуется надежное хранение информации, представленной в виде некоторого электрического напряжения, даже при перерывах в энергопитании. Такая задача возникает, в частности, при контроле количеств различных веществ, продукции и проч. Например, при автоматизации контроля движущегося в потоке груза приходится неизбежно иметь дело с накопителем информации, который не должен терять сведения о величине прошедшего груза, иначе сам процесс учета становится нецелесообразным.

Одним из основных устройств хранения потенциальной памяти является симметричный статический триггер. Однако, так как состояние триггера после подачи питающего напряжения определяется действием случайных факторов, даже при кратковременных перерывах энергопитания происходит потеря информации.

Стремление устранить указанный недостаток обычного статического триггера привело к разработке в начале 60-х годов в нашей стране и за рубежом статических элементов памяти, устойчивых к временным перерывам питания. Общим для них является наличие запоминающих элементов (ЗЭ), создающих асимметрию в схеме, что приводит к восстановлению информации.

Появление триггеров с памятью вызвало потребность в решении следующих задач:

- 1) необходимо систематизировать принципы построения статических триггеров, сохраняющих информацию при перерывах питания (СТСИ), и произвести их классификацию;

- 2) для установления критериев работоспособности СТСИ необходимо исследовать динамику восстановления информации в них;

- 3) следует установить границы применимости триггеров с памятью, для чего необходимо исследовать быстродействие СТСИ;

4) целесообразно рассмотреть специфику построения схем автоматических устройств на триггерах с памятью, а также разработать инженерные методы расчетов СТСИ.

В настоящее время триггеры с памятью описаны, в основном, в патентной литературе, где приводятся лишь схемы и принцип их действия. Все это делает актуальным решение перечисленных задач. Этой цели и посвящена данная работа. Материал диссертации разбит на 4 главы в соответствии с поставленными выше вопросами.

## Глава I

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ВЫХОДОМ

Для восстановления состояния триггера необходимо иметь информацию о положении схемы до перерыва в энергопитании. Для этой цели служат ЗЭ, которые бывают двух типов:

1) обеспечивающие кратковременное хранение информации (линейные емкости);

2) обеспечивающие длительную память (ферритовые сердечники и сегнетоэлектрические конденсаторы с прямоугольной статической петлей гистерезиса — ППГ).

При появлении электропитания ЗЭ создают асимметрию в схеме, которая и определяет в какое состояние включится триггер.

На основании анализа известных схем СТСИ автором предложена следующая их классификация. По типу ЗЭ СТСИ делятся на схемы с магнитными и емкостными ЗЭ. В свою очередь триггеры с магнитными ЗЭ могут быть с базовой, коллекторной и эмиттерной асимметрией. Схемы с емкостными ЗЭ удобнее делить по длительности хранения информации на триггеры с кратковременной и длительной памятью, так как в настоящее время известна лишь одна схема, позволяющая получить длительную память.

Рассмотрим подробнее особенности триггеров с магнитной памятью.

В схеме с базовой асимметрией (с одним ЗЭ) в большинстве случаев обеспечивается направленное включение триггера. Если до потери питания триггер был в том же состоянии, которое создается цепями направленного включения, ЗЭ не перемагничивается, состояние схемы не изменяется. В противоположном случае перемагничивание ЗЭ приводит к индуктированию специального импульса, поступающего на базу одного из триодов, что вызывает восстановление информации.

Для направленного включения применяют:

а) емкостную асимметрию ([Л.4] в списке опубликованных работ по теме);

б)  $RC$  — цепь, включенную между базой одного из транзисторов и коллекторным источником (схема Саммета и Крула, патент ФРГ № 1179996, кл. 21a1, 36/18);

в) кратковременный разрыв эмиттерной цепи одного из триодов (триггер Сомэда Садамити, японский патент кл. 59С0, № 282).

Емкостная асимметрия эффективна лишь при сравнительно малых значениях постоянной времени меньшей ускоряющей емкости и приводит к снижению быстродействия.

Применение дополнительной  $RC$  цепи также снижает быстродействие и создает возможность переброса триггера при снятии питания, что ведет к запоминанию ложной информации.

Наиболее эффективен разрыв эмиттерной цепи. На рис. 1 показан разработанный автором триггер с базовой асиммет-

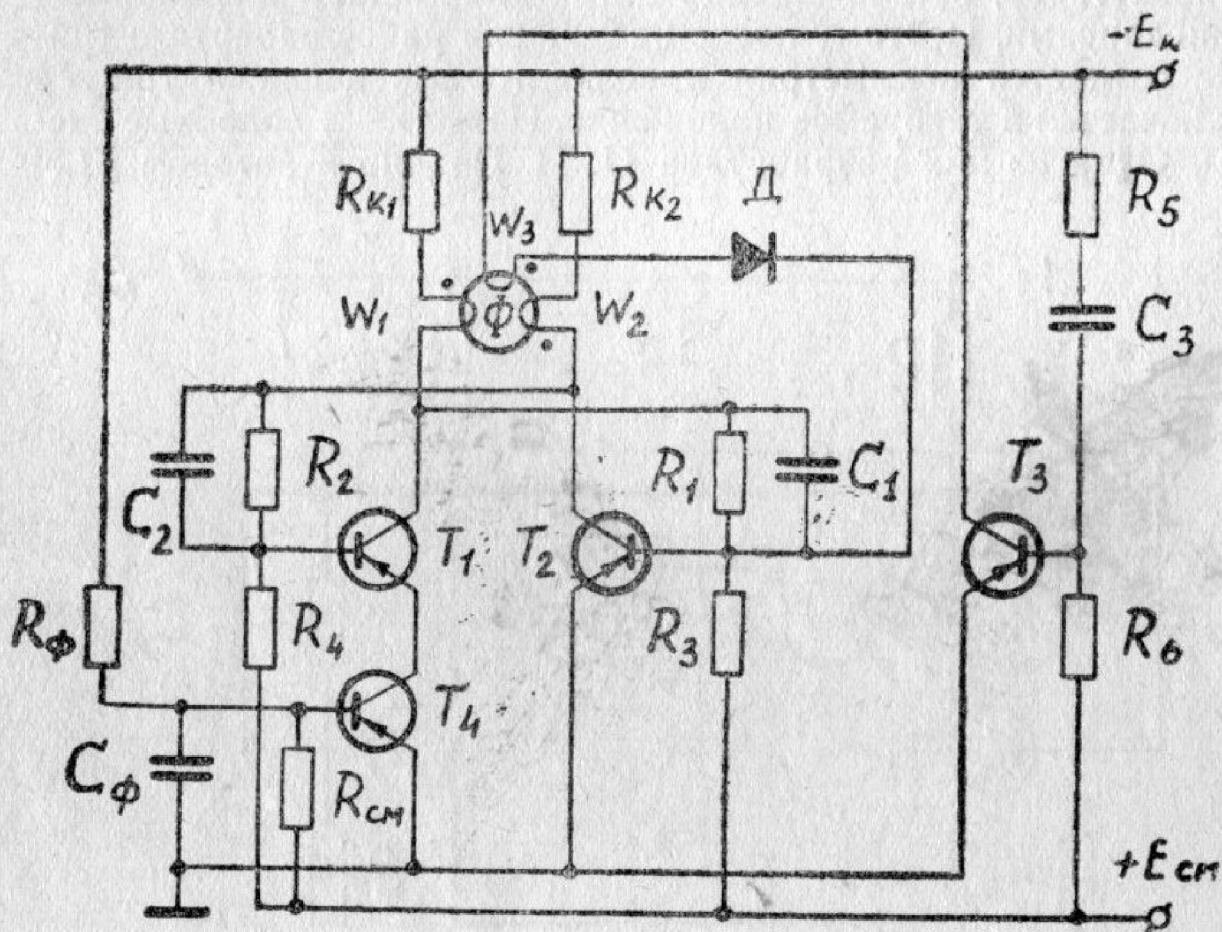


Рис. 1

рией, который восстанавливает информацию подобно схеме [Л.4], а направленное включение достигается за счет задержки отпирания ключевого триода  $T_4$  (в японском патенте для этой цели использован контакт реле). Триод  $T_3$  размыкает цепь обмотки  $W_3$  после восстановления информации, чем исключает-

ся ее влияние на переключение триггера. Ввиду преимуществ последней схемы анализ триггеров с базовой асимметрией проводился на триггере по рис. 1.

Автором разработан также триггер с базовой асимметрией без цепей направленного включения [Л.6]. Однако в таком триггере требуется жесткая фиксация времени открытого состояния триода, коммутирующего восстанавливающие обмотки, что составляет определенную трудность.

При использовании двух ЗЭ нет необходимости в направленном включении. Известна одна подобная схема (авторы Кэй и Даулер, английский патент № 927916, кл. 40(6), в которой ЗЭ включены в цепи связи триггера. Для перемагничивания ферритов введены дополнительные сопротивления между коллекторами и базами транзисторов, что приводит к нежелательной отрицательной обратной связи. Схема оказывается малоэффективной, обладает пониженным быстродействием.

Действие триггеров с **коллекторной** асимметрией основано на том, что обмотки ЗЭ, включенные в коллекторные цепи транзисторов, при появлении питания обладают различными импедансами. Поэтому после насыщения ранее запертого триода создается асимметрия в коллекторных цепях, и триггер включается в требуемое положение. Известны 2 подобные схемы. Одна из них разработана Н. П. Похило и автором [Л.5]

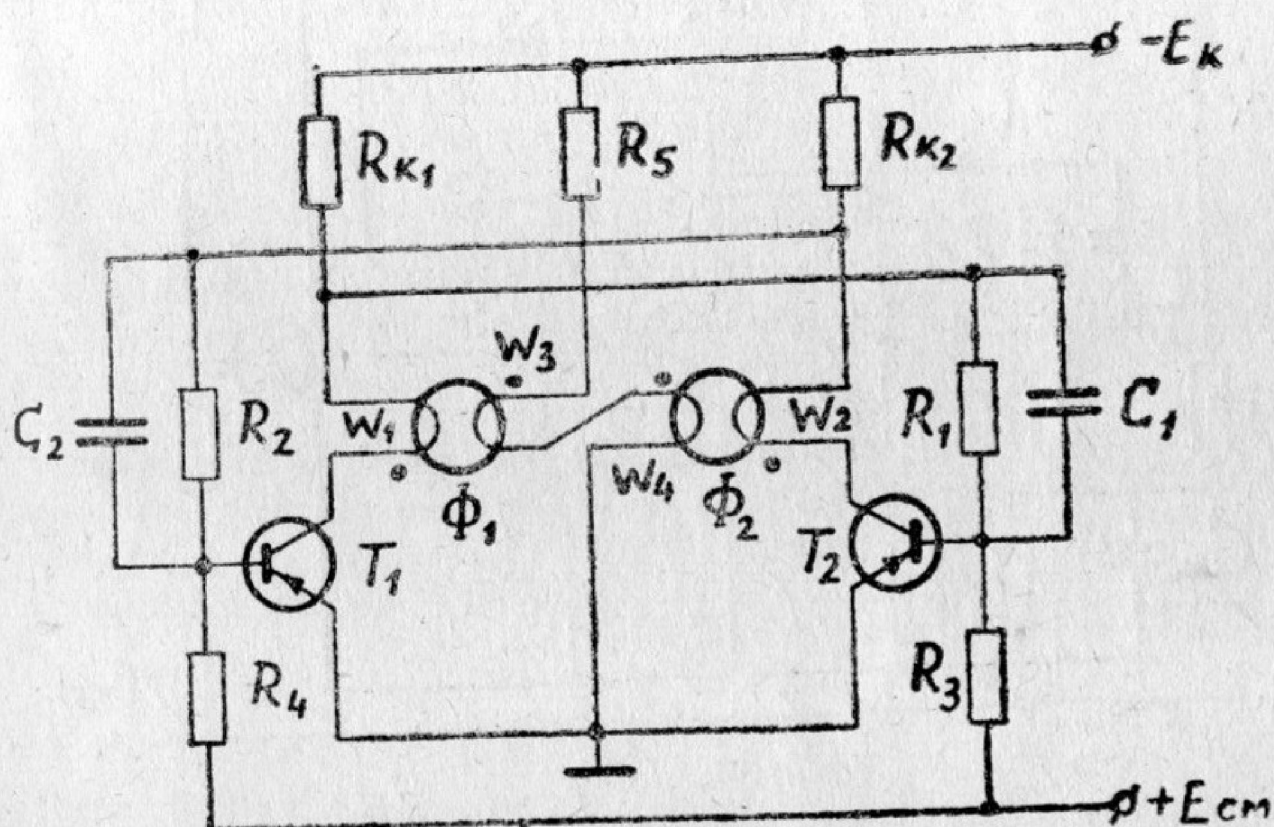


Рис. 2

(рис. 2), а другая Клейншмидтом (патент ФРГ. № 1134710, кл. 21a1, 36/18).

Схемы эти весьма сходны, поэтому анализировался лишь триггер, показанный на рис. 2.

В триггерах с **эмиттерной** асимметрией ЗЭ, включенные в эмиттерные цепи триодов, запоминают состояние схемы перед снятием питания. При восстановлении питания ЗЭ в цепи ранее отпертого триода оказывает меньшее сопротивление, чем другой ЗЭ, поэтому триггер включается в нужное положение. Известно несколько таких схем: патент ГДР № 33720, кл. 21a1, 26/02, автор Зандер Г; триггер, описанный Щедровым Н. И. в сборнике «Устройства и элементы промышленной телемеханики», Киев, 1964; авторское свидетельство № 166167, кл. 42<sup>m</sup> 14<sub>02</sub>, авторы Шприц Э. И. и Бильо Н. Д. Последняя схема является наиболее быстродействующей, поэтому именно она

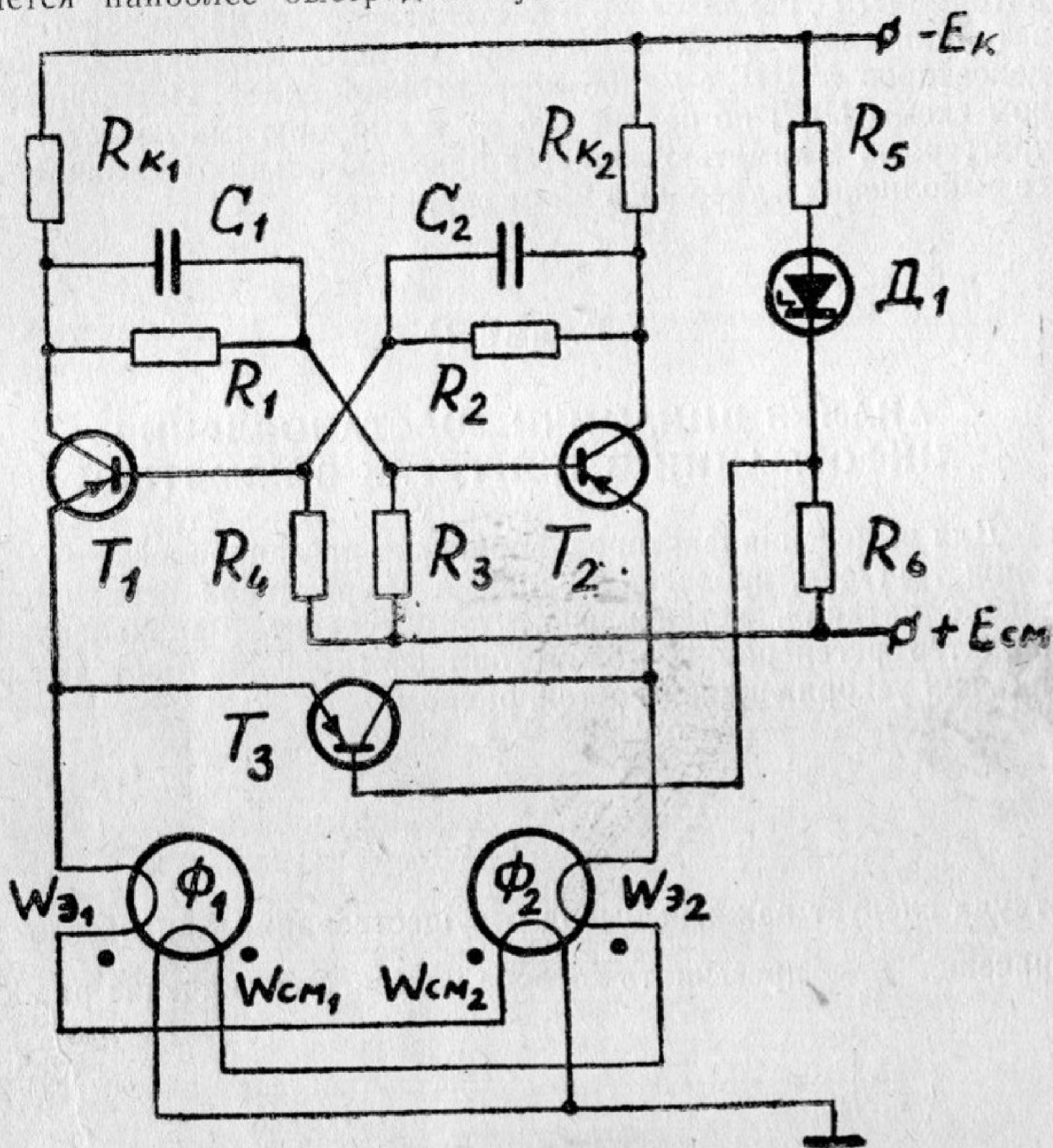


Рис. 3

была подвергнута количественному анализу. На рис. 3 показан триггер по а. с. № 166167 (цепи ЗЭ изменены автором с

тем, чтобы исключить обмотки, принадлежащие одновременно обоим ферритам; такое изменение, не влияя на работу схемы, упрощает процесс изготовления ЗЭ). После достижения питающим напряжением уровня пробоя стабилитрона  $D_1$  (информация к этому моменту должна восстановиться) происходит насыщение ферритов и они не противодействуют переключению триггера сигналами управления.

Емкостные триггеры с кратковременной памятью (патент США № 2982870, кл. 307—88.5 автор Хильбибер Д.; авторское свидетельство № 146776, кл. 21a1, 36/02, автор Блиндер М. И.) в настоящее время ценности не имеют из-за небольшого времени хранения информации.

Емкостной триггер с длительной памятью, разработанный автором [Л.7], реализовать в настоящее время на транзисторах затруднительно из-за отсутствия сегнетоэлектрических конденсаторов с ППГ с малой коэрцитивной силой. Преимуществом схемы [Л.7] по сравнению со всеми другими известными триггерами с памятью является принципиальная возможность ее выполнения в твердосхемном варианте.

## Глава II

### АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ТРИГГЕРАХ С ПАМЯТЬЮ

Для выяснения факторов, влияющих на направление включения триггера, проведен анализ регенеративной стадии при подаче питания. Установлено, что обеспечить направленный характер регенерации можно при соотношении постоянных времени ускоряющих емкостей, равном

$$\frac{\tau_{c1}}{\tau_{c2}} \geq \frac{1}{1 - \frac{\tau_{c2}/\tau_a}{(\tau_{c2}/\tau_a)_{кр}}},$$

откуда следует важный вывод о существовании критического значения  $\frac{\tau_{c2}}{\tau_a}$  превышать которое нельзя. Это значение равно

$$\left(\frac{\tau_{c2}}{\tau_a}\right)_{кр} = \frac{1,22}{\frac{1 + \delta R_k}{(1 - \delta R_k)(1 - \delta \tau_a)} - \frac{1 - \delta R_k}{(1 + \delta R_k)(1 + \delta \tau_a)}}.$$

Здесь  $\tau_a$  — постоянная времени коэффициента передачи эмиттерного тока транзистора;  
 $\delta R_k$  и  $\delta \tau_a$  — относительный допуск  $R_k$  и  $\tau_a$ .

При 10% допуске параметров  $\left[ \frac{\tau_{c2}}{\tau_a} \right]_{кр} \approx 2$ . При этом, если

$\frac{\tau_{c1}}{\tau_{c2}} \gg 2$  обеспечивается включение триггера в требуемое состояние при любом сочетании разброса параметров, не выходящем за пределы допуска. Поскольку обычно  $\tau_r$  имеет гораздо больший разброс, чем 10%, соотношение  $\left( \frac{\tau_{c2}}{\tau_a} \right)_{кр}$  оказывается неприемлемо малым. Поэтому целесообразнее обеспечивать направленное включение разрывом эмиттерной цепи.

Рассмотрим особенности переходного процесса при включении питания в триггере с базовой асимметрией (рис. 1).

Включение триггера в состояние, когда открытым является триод  $T_2$  всегда будет происходить, если к моменту  $t_\phi^+$  насыщения  $T_2$  триод  $T_4$  остается закрытым, т. е.

$$u_{\phi 4}(t_\phi^+) \geq 0. \quad (1)$$

Возможность закрытого состояния  $T_4$  вытекает из того, что смещающее напряжение поступает на схему раньше коллекторного (пояснения в 4-ой главе).

Считая, что э.д.с. коллекторного источника нарастает экспоненциально с постоянной  $\Theta$ , можно получить, что

$$u_{\phi 4}(t) = \frac{E_{см} R_\phi - E_k R_{см}}{R_{см} + R_\phi} + \frac{E_k \exp(-t/\Theta)}{C_\phi R_\phi \left[ \frac{1}{\tau_\phi} - \frac{1}{\Theta} \right]} - \left[ E_{см} \left( \frac{\tau_\phi}{C_\phi R_{см}} - 1 \right) - E_k \frac{\tau_\phi^2}{C_\phi R_\phi (\tau_\phi - \Theta)} \right] \exp\left(-\frac{t}{\tau_\phi}\right), \quad (2)$$

где  $\tau_\phi = C_\phi (R_\phi \parallel R_{см})$ .

Задаваясь величиной  $t_\phi^+$ , всегда можно выбрать из (2)  $C_\phi$  и  $R_\phi$ , при которых выполняется (1), т. е. обеспечить восстановление информации для случая, когда проводил  $T_2$  перед снятием питания.

Если перед потерей питания открытым был  $T_1$ , ЗЭ перемагничивается. Ввиду плавности изменения напряженности магнитного поля  $H$  выходной импульс оказывается задержанным на время  $t_3$  пока  $H$  достигнет некоторого порогового значения  $H_0$ . Величина  $t_3$  находится из трансцендентного уравнения вида

$$1 - \frac{\frac{\Theta}{\tau} \exp\left(-\frac{t_3}{\Theta}\right) - \exp\left(\frac{t_3}{\tau}\right)}{\frac{\Theta}{\tau} - 1} = \frac{H_0 l}{I_{кн} W_1 (1 - \gamma)}, \quad (3)$$

решение которого представлено на рис. 4.

В выражении (3)

$$\tau = (R_{к1} \parallel R_1)C_1, \quad \gamma = \frac{R_{к1}}{R_{к1} + R_1}, \quad I_{кн} = \frac{E_{к}}{R_{к}}$$

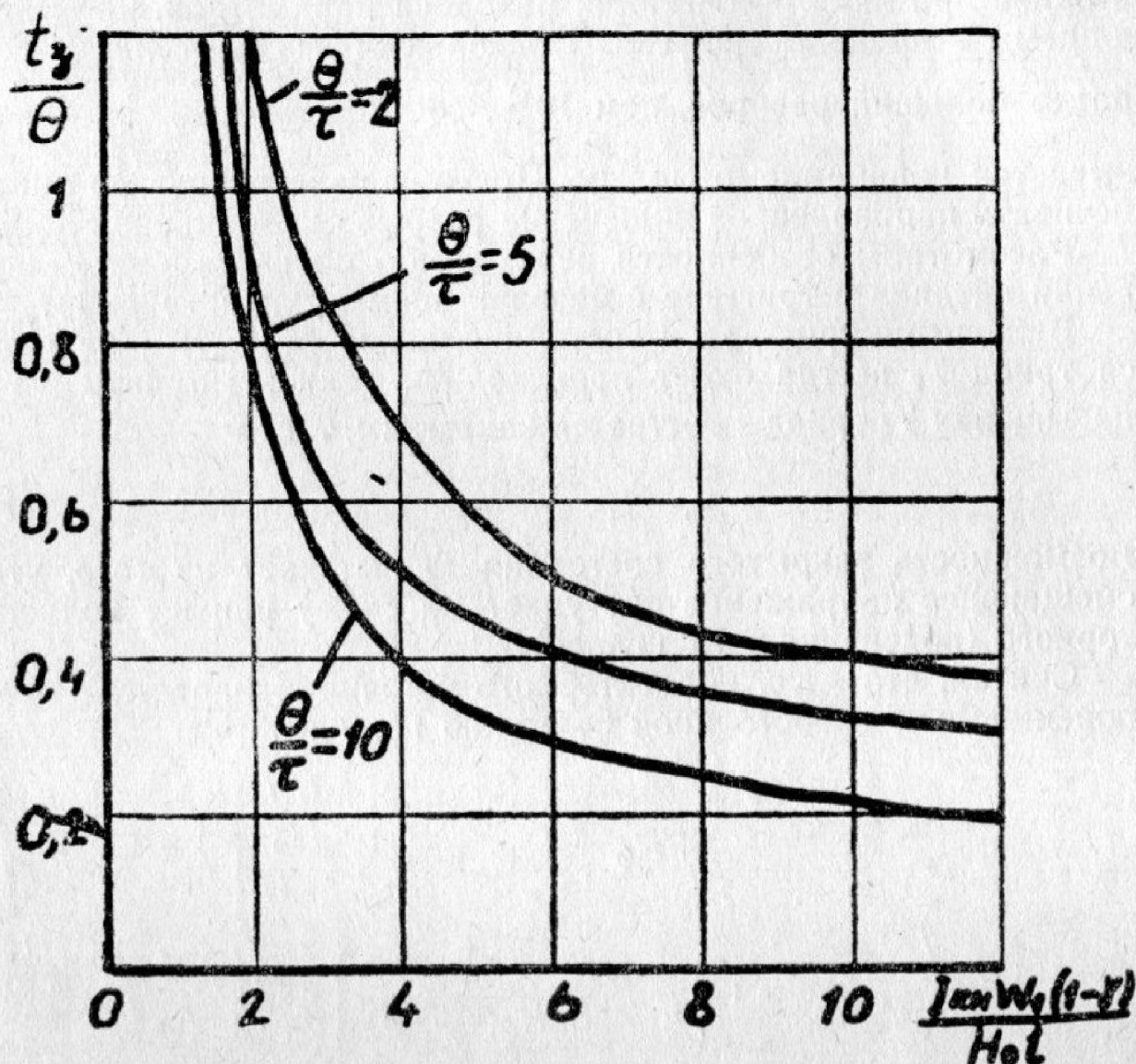


Рис. 4

Связь между индукцией  $B$  и напряженностью  $H$  при перемагничивании феррита с ППГ описывается известным уравнением

$$\frac{dB}{dt} = r(B)[H(t) - H_0], \quad (4)$$

где  $r(B) = r_m \left(1 - \frac{B^2}{B_s^2}\right)$  — динамическое сопротивление феррита — функция, характеризующая магнитную вязкость.

Применяя (4) к рассматриваемой схеме, получим нелинейное дифференциальное уравнение, приближенное решение ко-

того для переднего фронта  $\frac{dB}{dt}$  хорошо аппроксимируется косинусоидальным законом изменения индукции. Поэтому ток восстанавливающей обмотки  $i_3$  равен

$$i_3(t) = \frac{W_3 S}{R_{\text{д экв}}} \left( \frac{dB}{dt} \right)_m \sin \left[ \frac{\pi}{T} (t - t_3) \right] \cdot 1(t - t_3), \quad (5)$$

где  $R_{\text{д экв}}$  — эквивалентное активное сопротивление, которым заменен диод  $D$  и переход эмиттер-база  $T_2$ ,

$$\left( \frac{dB}{dt} \right)_m = \frac{B_r \pi}{T}, \quad (6)$$

$B_r$  — остаточная индукция,

$T$  — время перемагничивания сердечника.

Время  $T$  находится решением уравнения

$$\frac{T}{\Theta} \left[ D + 1 - \exp \left( - \frac{T}{2\Theta} \right) \right] = A, \quad (7)$$

где

$$A = \frac{B_r \pi (1/r_m + b)}{\Theta \frac{W_1}{l} \frac{E_k - E_{k0}}{R_{k1}} (1 - \gamma)}, \quad (8)$$

$$D = \frac{E_{k0}}{E_k - E_{k0}} - \frac{H_0 l R_{k1}}{W_1 (1 - \gamma) (E_k - E_{k0})}, \quad (9)$$

$$E_{k0} = E_k(t_3) = E_k (1 - e^{-t_3/\Theta}), \quad (10)$$

$$b = \frac{S}{l} \left[ \frac{W_1^2}{R_{k1}} (1 + \gamma) + \frac{W_3^2}{R_{\text{д экв}}} \right], \quad (11)$$

$S$  и  $l$  — площадь поперечного сечения и длина средней окружности сердечника соответственно.

Решение уравнения (7) дано на графике (рис. 5).

Установлено, что наибольшая амплитуда  $i_3$  имеет место при оптимальном соотношении витков, равном

$$\left( \frac{W_3}{W_1} \right)_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{R_{\text{д экв}}}{r_m \frac{W_1^2 S}{l}} + \frac{R_{\text{д экв}}}{R_{k1} (1 + \gamma)}}. \quad (12)$$

Для восстановления информации необходимо, чтобы наибольшее значение  $i_3(t)$  было достаточно для выхода из насыщения триода  $T_2$ . Учитывая небольшую величину промежутка рассасывания избыточных дырок из базы  $T_2$  (ввиду плавности

изменения базового тока), для упрощения будем считать условием восстановления

$$i_3\left(t_3 + \frac{T}{2}\right) \geq i_{\text{отп}2}\left(t_3 + \frac{T}{2}\right) \quad (13)$$

где  $i_{\text{отп}2}$  — отпирающий ток базы  $T_2$ .

Неучет тока смещения эквивалентен введению некоторого запаса в условие (13).

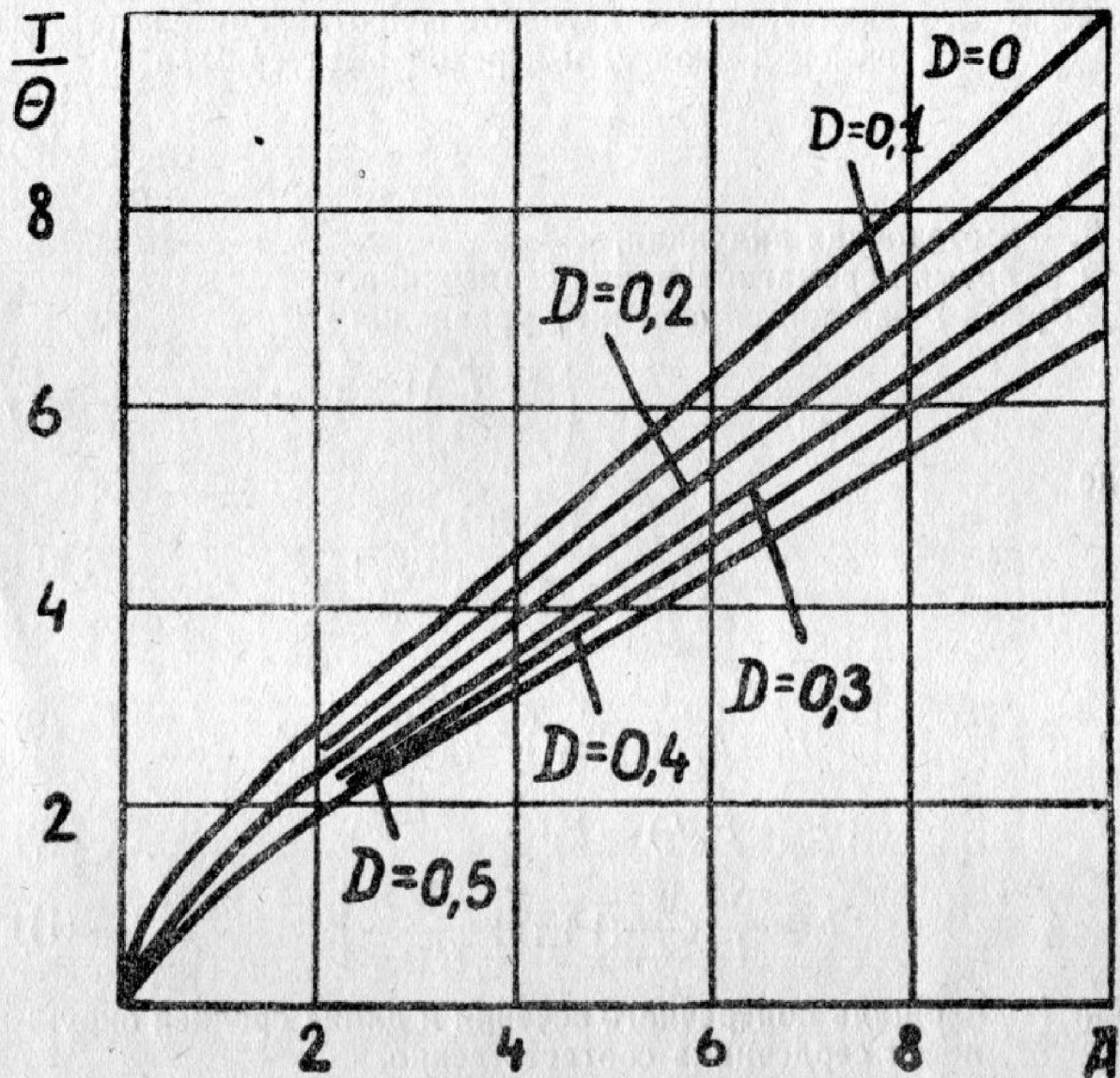


Рис. 5

Ток  $i_{\text{отп}2}(t)$  при  $t \geq t_3$  изменяется по закону

$$i_{\text{отп}2}(t) = I_{\text{кн}} \frac{\tau}{R_1 C_1} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{E_{\text{к}0}}{E_{\text{к}}} \right) \frac{\theta - R_1 C_1}{\theta - \tau} \exp\left(-\frac{t-t_3}{\theta}\right) - \left( 1 - \frac{\theta E_{\text{к}0}}{\tau E_{\text{к}}} \right) \frac{\tau - R_1 C_1}{\tau - \theta} \exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau}\right) \right] + \frac{W_1 S}{R_{\text{к}1}} \left( \frac{dB}{dt} \right)_m \times \left\{ \left( \frac{1}{R_1 C_1} - \frac{1}{\tau} \right) \frac{\frac{\pi}{T} \exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau}\right)}{\frac{1}{\tau^2} + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2} + \right. \quad (14)$$

$$+ \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{R_1 C_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2}{\frac{1}{\tau^2} + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2}} \sin\left[\frac{\pi}{T}(t-t_3) + \psi\right] \left\{ -U_{c0} \frac{\exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau}\right)}{R_{к1}} \right\}$$

где  $\psi = \text{arctg}\left(R_1 C_1 \frac{\pi}{T}\right) - \text{arctg}\left(\tau \frac{\pi}{T}\right)$ ;

$$U_{c0} = E_{к0} - I_{кн} R_{к1} \left[ \frac{\left(1 - \gamma \frac{\Theta}{\tau}\right) e^{-t_3/\Theta} + (\gamma - 1) e^{-t_3/\tau}}{\Theta/\tau - 1} \right]$$

напряжение на емкости  $C_1$  при  $t=t_3$ .

Условие (13) совместно с выражениями (5), (12) и (14) позволяет решить вопрос о выборе параметров триггера (об оптимальном значении  $W_1 = W_2$  в третьей главе).

Исследовано влияние различных факторов на восстановление информации в триггере по рис. 1.

Внешнюю нагрузку наиболее целесообразно подключать параллельно транзистору  $T_2$ . При этом  $R_{н \text{ min}}$  определяется, как для обычного триггера, и кроме того на этом выходе отсутствует ложный выходной сигнал во время переходного процесса.

Оптимальная длительность фронта нарастания  $E_k$  лежит в пределах  $4 \text{ мксек} < t_\phi < 10 \text{ мксек}$ .

Экспериментально подтверждена возможность работы триггера с базовой асимметрией до температуры  $+60^\circ \text{C}$  даже при использовании низкокоэрцитивных сердечников.

В триггере с **коллекторной** асимметрией (рис. 2) при неблагоприятном разбросе параметров регенерация при включении питания приводит к насыщению ранее запертого триода (например,  $T_2$ ). Плавность роста  $H(t)$  и здесь приводит к задержке выходного сигнала на время

$$t_3 = \Theta \ln\left(1 - \frac{E_{к0}}{E_k}\right)^{-1}, \quad (15)$$

где

$$E_{к0} = E_k(t_3) = \frac{H_0 l}{W_2/R_{к2} - W_4/R_5}. \quad (16)$$

Перемагничивание  $\Phi_2$  сопровождается ростом э.д.с. в обмотке  $W_2$  что способствует отпираанию  $T_1$ . Для восстановления информации необходимо, чтобы к моменту  $t^*$  когда  $\frac{dB}{dt}$  достигнет максимума, триод  $T_2$  вышел из насыщения. Проще, однако, проверить насытится ли  $T_1$  к этому моменту.

Поэтому условие

$$i_{к1}(t^*) \geq i_{кн}(t^*), \quad (17)$$

где

$$i_{кн}(t) = I_{кн}(1 - e^{-t/\theta}), \quad (18)$$

будем считать условием восстановления информации.

Для определения  $i_{к1}(t)$  следует знать  $\frac{dB(t)}{dt}$ , для чего нужно решать уравнение (4) совместно с уравнениями, характеризующими схему на рис. 2. Задача сводится к решению нелинейного дифференциального уравнения. Поэтому целесообразно ввести упрощения, позволяющие линеаризовать систему. Это можно сделать без существенной погрешности, если учесть, что нас интересует лишь передний фронт  $\frac{dB}{dt}$ . Многочисленные эксперименты показывают, что при сравнительно плавном перемагничивании феррита ( $t_{\phi} > 3 \div 4$  мксек), находящегося в таких условиях, как в триггере с памятью, для переднего фронта  $\frac{dB}{dt}$  можно считать

$$r(B) = r_m. \quad (19)$$

Тогда можно найти, что для  $t \gg t_3$

$$i_{к1}(t) = (E_k - E_{к0}) \left( \frac{1}{R_{к2}} - \frac{1}{R_5 \frac{W_2}{W_4}} \right) \beta_1 \left[ \frac{\tau_{\text{ЭКВ}}}{R_2 C_2} - \frac{\left( \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{1}{\theta} \right) \exp\left(-\frac{t-t_3}{\theta}\right)}{\left(1 - \frac{\tau_{\beta}}{\theta}\right) \left(\frac{1}{\tau_{\text{ЭКВ}}} - \frac{1}{\theta}\right)} - \frac{\left( \frac{\tau_{\text{ЭКВ}}}{R_2 C_2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau_{\text{ЭКВ}}}\right)}{\left(1 - \frac{\theta}{\tau_{\text{ЭКВ}}}\right) \left(1 - \frac{\tau_{\beta}}{\tau_{\text{ЭКВ}}}\right)} - \frac{\left( \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{1}{\tau_{\beta}} \right) \exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau_{\beta}}\right)}{\left(1 - \frac{\theta}{\tau_{\beta}}\right) \left(\frac{1}{\tau_{\text{ЭКВ}}} - \frac{1}{\tau_{\beta}}\right)} \right] - \frac{E_{\text{см}} \beta_1}{R_3} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_3}{\tau_{\beta}}\right) \right], \quad (20)$$

где  $\tau_{\beta}$  — постоянная времени коэффициента передачи базового тока  $\beta$ ;

$$\tau_{\text{ЭКВ}} = \frac{C_2}{1/r_m \frac{W_2^2 S}{l} + \frac{1}{R_{к2}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5 \left(\frac{W_2}{W_4}\right)^2}}, \quad (21)$$

Момент  $t^*$  приближенно определяется, как

$$t^* \cong \frac{B_r \left[ 1/r_m + \frac{W_2^2 S}{l} \left( \frac{1}{R_{k2}} + \frac{1}{R_2} \right) + \frac{W_4^2 S}{R_5 l} \right]}{(E_k - E_{k0}) (W_2/R_{k2} l - W_4/R_5 l)} + \Theta + \tau_{эКВ} + t_3. \quad (22)$$

Влияние длительности фронта нарастания  $E_k$  и температуры окружающей среды для триггера с коллекторной асимметрией такие же как для схемы на рис. 1.

Минимальная величина нагрузочного сопротивления, подключенного параллельно транзистору должна быть не меньше, чем для обычного триггера, и кроме того

$$R_{н \min} \geq \frac{E_k W_2}{\frac{E_k}{R_5} W_4 - H_0 l} - R_{k2}.$$

Введением элементов задержки тока в цепь постоянного подмагничивания (например, последовательно включенный стабилитрон или параллельно включенная емкость) можно повышать надежность восстановления информации.

Экспериментально установлено, что в триггерах с **эмиттерной** асимметрией регенеративный процесс приводит к восстановлению информации лишь при сравнительно малом разбросе параметров. В худшем случае ранее запертый триод успевает насытиться (например,  $T_2$ ).

В схеме по рис. 3 информация должна восстановиться до пробоя стабилитрона  $D_1$ . Поэтому оптимальное значение  $t_\phi$  довольно велико ( $10 \div 20$  мксек), и при анализе удобнее считать фронт  $E_k(t)$  линейным, а при необходимости можно пренебрегать влиянием цепей связи на перемагничивание  $\Phi_2$ .

Длительность задержки выходного сигнала определяется как

$$t_3 = \frac{E_{k0}}{E_k} t_\phi, \quad (22)$$

где

$$E_{k0} = E_k(t_3) = (0,6 - 0,7) \frac{H_0 R_{k2} l}{W_{э2}}. \quad (23)$$

Перемагничивание  $\Phi_2$  вызывает увеличение потенциала эмиттера  $u_{э2}$  (по модулю), отпирание  $T_1$  и выход из насыщения  $T_2$ . Для восстановления информации необходимо, чтобы  $T_2$  вошел в активную область до момента пробоя стабилитрона  $t_{пр}$  либо ранее, чем производная индукции достигнет максимума. Для приведенных выше значений  $t_\phi$   $t_{пр}$  обычно меньше момента достижения  $\left( \frac{dB}{dt} \right)_m$  либо близок к нему. По-

Этому условие восстановления может быть записано в виде

$$\frac{u_{к1}(t_{пр}) - u_{э2}(t_{пр})}{R_1} \geq \frac{E_{к}(t_{пр}) - u_{э2}(t_{пр})}{\beta R_{к2}} \quad (25)$$

в выражении (25) не учтено небольшое влияние тока смещения и емкости  $C_1$ . Этим внесен некоторый запас в условие восстановления информации.

Если  $U_{ст}$  — уровень пробоя  $D_1$ , то момент пробоя

$$t_{пр} = \frac{U_{ст}}{E_{к}} t_{ф} \quad (26)$$

При использовании (19) для переднего фронта можно получить (при  $t \geq t_3$ )

$$u_{э2} = \frac{(E_{к} - E_{к0}) \left\{ \frac{t - t_3}{t_{ф}} - \frac{\tau_{эКВ} - \tau_{\beta}}{t_{ф}} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_3}{\tau_{эКВ}} \right) \right] \right\}}{1 + \frac{W_{см} (W_{э} + W_{см}) \beta R_{к2}}{W_{э}^2 R_2} + 1/r_m \frac{W_{э}^2 S}{R_{к2} l}} \quad (27)$$

$$u_{к1}(t) = E_{к}(t) - i_{к1}(t) R_{к1} \quad (28)$$

$$i_{к1}(t) = \frac{\frac{E_{к} - E_{к0}}{R_2} \beta \left\{ \frac{t - t_3}{t_{ф}} - \frac{\tau_{эКВ} - R_2 C_2}{t_{ф}} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_3}{\tau_{эКВ}} \right) \right] \right\}}{\frac{W_{э}}{W_{э} + W_{см}} + \frac{W_{см} R_{к2}}{W_{э} R_2} \beta + 1/r_m \frac{W_{э} (W_{э} + W_{см}) S}{R_{к2} l}} \quad (29)$$

где

$$\tau_{эКВ} = \frac{\tau_{\beta} \left( r_m \frac{W_{э}^2 S}{R_{к2} l} + 1 \right) + \frac{W_{см} (W_{э} + W_{см}) \beta C_2 r_m S}{l}}{1 + r_m \frac{W_{э}^2 S}{R_{к2} l} + r_m \frac{W_{см} (W_{э} + W_{см}) S \beta}{R_2 l}} \quad (30)$$

Экспериментально исследована возможность работы схемы по рис. 3 до  $+60^{\circ}C$ .

Минимальная величина сопротивления нагрузки, включенного параллельно триоду, составляет  $(1-2) R_{к}$ .

### Глава III

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СТАТИЧЕСКИХ ТРИГГЕРОВ С ПАМЯТЬЮ

Введение запоминающих элементов в триггер с целью создания долговременной памяти приводит к ухудшению его

частотных свойств. Главной причиной снижающей быстродействие СТСИ является сравнительно медленный процесс перемагничивания ЗЭ. Так как время перемагничивания зависит от величины перемагничивающего тока, целесообразно сравнивать быстродействие триггеров с памятью с учетом потребляемой мощности  $P$ . Поэтому введено понятие относительного быстродействия

$$\nu = f_{\max}/P,$$

где  $f_{\max}$  — максимальная рабочая частота.

Наличие сравнительно больших индуктивностей в триггерах с памятью приводит к тому, что изменения коллекторного тока заметно отстают от изменений коллекторного напряжения. Поэтому следует рассматривать 2 вида быстродействия: потенциальное и токовое.

В работе показано, что потенциалы коллекторов в триггерах с базовой (рис. 1) и коллекторной (рис. 2) асимметрией изменяются не медленнее, чем в обычном статическом триггере. Однако различие невелико и приближенно можно считать, что потенциальное быстродействие указанных схем такое, как у обычного триггера.

Максимальное токовое быстродействие для триггера с базовой асимметрией наблюдается при оптимальном числе витков коллекторных обмоток.

$$W_{1 \text{ опт}}^{\delta} = \frac{H_0 l}{I_{\text{кн}}} + \sqrt{\left(\frac{H_0 l}{I_{\text{кн}}}\right)^2 + \frac{R_{\text{к}2} l}{r_m S}}. \quad (31)$$

При выполнении (31) относительное быстродействие триггера с базовой асимметрией колеблется в пределах

$$\nu_{\delta} \approx \frac{670 \div 750}{l} \frac{\text{кГц}}{\text{вт}} \quad (32)$$

Для схемы с коллекторной асимметрией относительное быстродействие в несколько раз меньше

$$\nu_{\text{к}} \approx \frac{160 \div 260}{l} \frac{\text{кГц}}{\text{вт}} \quad (33)$$

Наибольшему токовому быстродействию схемы по рис. 2 соответствует число коллекторных витков

$$W_{1 \text{ опт}}^{\text{к}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)^2 + \frac{\alpha_3}{\alpha_1}}, \quad (34)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{E_{\text{к}} S r_m^2}{l R_{\text{к}}};$$

$$\alpha_2 = r_m'' S \left[ \frac{W_3 E_K}{R_5 l} + H_0'' - \frac{r_m' \frac{W_3^2 S}{l R_5}}{1 + r_m'' \frac{W_3^2 S}{l R_5}} \left( \frac{E_K W_3}{R_5 l} - H_0' \right) \right];$$

$$\alpha_3 = E_K \left( 1 + \frac{r_m'' \frac{W_4^2 S}{l R_5}}{1 + r_m' \frac{W_3^2 S}{l R_5}} \right).$$

Индексы ' и '' введены для обозначения параметров сердечников  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  соответственно (из-за различия перемангничивающих ампервитков и нелинейности динамических характеристик).

Повысить токовое быстродействие СТСИ до соответствующего значения для обычного триггера и ликвидировать выбросы на коллекторах триодов в схемах с базовой и коллекторной асимметрией можно в том случае, если устранить влияние ЗЭ на схему.

Подобный способ применен в триггере с эмиттерной асимметрией (рис. 3). Насыщение сердечников после восстановления информации значительно уменьшает влияние ЗЭ на схему (параметры триггера оказываются примерно такими же, как у обычной схемы). Недостатком указанного способа является то, что перемангничивание ферритов при снятии питания может вызвать переброс схемы.

Автором предложен способ повышения быстродействия триггеров с памятью, который может быть применен к различным схемам. Способ состоит в том, что для исключения влияния на триггер ЗЭ в последний вводится короткозамкнутая обмотка, размагничивающее действие которой сводит практически к нулю э.д.с. самоиндукции, индуктируемые на обмотках ЗЭ, и поэтому нет препятствия быстрым изменениям коллекторного тока. Введение короткозамкнутой обмотки должно происходить после восстановления информации, для чего следует управлять коммутирующим ключом от порогового устройства (например, стабилитрона). При снятии питания необходимо обеспечить прекращение подачи управляющих импульсов за несколько микросекунд до момента размыкания короткозамкнутой обмотки. При этом будет происходить перемангничивание ЗЭ, т. е. запоминание состояния триггера, без индуктирования заметной э.д.с.

В работе приводятся разработанные автором схемы триггеров с коллекторной и базовой асимметрией, у которых применен указанный способ повышения быстродействия.

Установлено, что схемы с эмиттерной асимметрией, у которых не применяется какой-либо из способов повышения

быстродействия переключаются весьма затруднительно и требуют подачи пускового сигнала, длительность которого превышает время перемагничивания ЗЭ.

## Глава IV

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕРЫВОВ ЭНЕРГОПИТАНИЯ

В четвертой главе рассмотрены методы расчетов триггеров с памятью, вопросы электропитания СТСИ, вопросы каскадирования схем на триггерах с памятью, а также выполненное на СТСИ устройство (интегратор автоматических конвейерных весов, для которого потеря информации недопустима).

Анализ, проведенный во второй и третьей главах, позволяет рекомендовать следующие методы расчетов.

Исходными данными для расчетов являются амплитуда выходного сигнала, максимальная частота переключения  $f_{\max}$  и длительность фронта нарастания коллекторного питания  $t_{\phi}$  либо постоянная времени  $\Theta \approx t_{\phi}/2,2$ .

При расчете всех типов триггеров:

1. Выбираются типы ЗЭ, транзисторов, диодов.
2. Определяется э.д.с. коллекторного источника  $E_k$  по заданной амплитуде выходного сигнала, как для обычного триггера.
3. Выбирается величина коллекторного тока насыщения. При этом для схем с базовой и коллекторной асимметрией, исходя из заданного быстродействия и известных средних значений  $\gamma_b$  и  $\gamma_k$  из (32) и (33), имеем

$$I_{\text{кн}} \geq \frac{f_{\max}}{E_k \gamma}$$

Не рекомендуется выбирать  $I_{\text{кн}} < 15 \text{ ма}$  для ЗЭ с наружным диаметром (3—5) мм.

Для триггера с эмиттерной асимметрией рекомендуется выбирать  $I_{\text{кн}} = (10—20) \text{ ма}$  для ЗЭ с  $l \approx 1 \text{ см}$ .

4. Определяется  $R_{k1} = R_{k2} = E_k / I_{\text{кн}}$ .
5. Рассчитываются  $E \text{ см}$ ,  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$ ,  $C_1 = C_2$ , используя методы расчета обычного симметричного триггера. При этом желательно увеличивать коэффициент насыщения, так как это повышает помехозащищенность.

Дальнейший ход расчета различен для различных схем.

Для схем с базовой асимметрией:

6. Определяется  $W_1 = W_2$  из (31).

7. Определяется  $W_3$  из (12).

8. Проверяется условие восстановления информации (13), для чего:

а) определяется  $t_3$  из рис. 4;

б) рассчитывается  $E_{к0}$  по (10);

в) определяются из (8) и (9) коэффициенты  $A$  и  $D$ , после чего по рис. 5 определяется  $T$ ;

г) рассчитывается максимум производной индукции по (6);

д) определяются  $i_3\left(t_3 + \frac{T}{2}\right)$  из (5) и  $i_{отп2}\left(t_3 + \frac{T}{2}\right)$  из (14), после чего проверяется (13).

При невыполнении (13) следует увеличить  $I_{кн}$  и повторить расчет.

9. Рассчитываются цепи триода  $T_4$ , обеспечивающего направленные включения:

а) величину  $R_{см}$  определяют, как для обычного транзисторного ключа;

б) сопротивление  $R_{ф}$  выбирают достаточным для насыщения  $T_4$ ;

в) выбирается  $\tau_{ф}$  при котором для  $t_{ф}^+ = (1 \div 2)$  мксек выполняется условие (1), после чего рассчитывается  $C_{ф}$ .

10. Рассчитывается базовая цепь ключевого триода  $T_3$ , коммутирующего восстанавливающую обмотку:

а)  $R_6$  определяется аналогично  $R_{см}$ .

б)  $R_5$  выбирается из соотношения

$$R_5 < \frac{\beta_{3\min} E_k}{2i_3\left(t_3 + \frac{T}{2}\right)};$$

в) выбирается  $C_3$ , удовлетворяющее неравенству

$$\frac{E_k}{R_5} \frac{\exp\left(-\frac{t_3 + T}{\theta}\right) - \exp\left(-\frac{t_3 + T}{C_3 R_5}\right)}{\frac{\theta}{R_5 C_3} - 1} - \frac{E_{см}}{R_5} > \frac{i_3\left(t_3 + \frac{T}{2}\right)}{\beta_{3\min}}.$$

При расчете по пунктам 7—10 в качестве  $E_k$  следует использовать уровень срабатывания формирователя  $E_k(t)$   $E_{ксп}$ . Обычно  $E_{ксп} = (0,7 - 0,8)E_k$ .

Для триггера с коллекторной асимметрией:

6. Выбираются ампервитки обмотки подмагничивания из соотношения  $I_3 W_3 = (1,5 \div 2) H_c l$ , где  $I_3$  — ток подмагничивания,  $H_c$  — коэрцитивная сила.

Для сердечников с  $l \approx 1$  см  $W_3$  выбирают равным (20—30), после чего определяют  $I_3$  и  $R_5 = E_k/I_3$ .

7. Из (34) определяют  $W_1 = W_2$ . Кроме того необходимо, чтобы

$$I_{\text{кн}} W_2 - I_3 W_4 \geq 2H_c l.$$

8) Проверяется условие восстановления информации:

а) определяются  $t_3$  и  $E_{\text{к0}}$  из (15) и (16);

б) определяется  $\tau_{\text{экв}}$  из (21);

в) из (22) находят  $t^*$ ;

г) проверяется условие (17). При невыполнении условия восстановления информации следует увеличить  $I_{\text{кн}}$ . При проверке (17) следует использовать  $E_{\text{ксп}}$  вместо  $E_k$ .

Для триггера с **эмиттерной** асимметрией:

Выбирается число витков смещающей обмотки из соотношения

$$W_{\text{см}} I_{\text{кн ст}} \geq (1,5 \div 2) H_c l,$$

где  $I_{\text{кн ст}}$  — значение тока насыщения в момент записи стабилитрона при снятии питания.

7. Выбирается число витков эмиттерных обмоток  $W_9$  из соотношения

$$\frac{I_{\text{кн}} W_9}{l} = (0,8 \div 1,2) \text{ а/см.}$$

8.  $R_5$  определяется по формуле

$$R_5 \leq \frac{E_k - U_{\text{ст}}}{I_{\text{кн}}} \frac{W_9 - W_{\text{см}}}{W_{\text{см}}}.$$

9. Проверяется условие восстановления информации:

а) находят  $t_3$  и  $E_{\text{к0}}$  из (23) и (24);

б) определяют  $\tau_{\text{экв}}$  из (30);

в) рассчитывают  $t_{\text{пр}}$  из (26);

г) определяют  $u_{\text{э2}}(t_{\text{пр}})$  из (27),  $u_{\text{к1}}(t_{\text{пр}})$  из (28) с учетом (29) и проверяют (25). При невыполнении (25) следует увеличить  $W_9$  либо  $I_{\text{кн}}$ .

В работе приводятся примеры расчета триггеров каждого типа, а также результаты экспериментального подтверждения работоспособности рассчитанных схем.

Для надежного восстановления информации триггера с памятью необходимо обеспечивать крутой фронт нарастания питающего напряжения. Постоянное напряжение в большинстве случаев получают выпрямлением переменного. Из-за наличия сглаживающего фильтра фронт выпрямленного напряжения весьма пологий. Поэтому для питания СТСИ необходимо применение специального электронного ключа, который пода-

ет питание на схему лишь после достижения выходным напряжением выпрямителя требуемого значения. Заметим, что напряжение смещения нет необходимости формировать, поэтому оно поступает на триггер раньше коллекторного.

В работе описываются 3 типа формирователей. Один из них, разработанный автором, позволяет исключить возможность весьма кратковременных перерывов, которые опасны для триггеров с памятью. Для этой цели в формирователе используется пороговое устройство с гистерезисом, которое управляет транзисторным ключом.

Определенное влияние на правильность работы СТСИ оказывает и длительность фронта выключения питания. При неблагоприятных условиях возможен переброс триггера при снятии питания и запоминание ложной информации. Показано, что для предотвращения подобного явления необходимо, чтобы постоянная времени спада  $E_{\kappa}(t) \Theta_{\text{сп}}$  удовлетворяла неравенству

$$\Theta_{\text{сп}} > \frac{R_2 C_2}{1 - \frac{E_{\text{см}}/R_4}{(0,2 \div 0,3) \gamma I_{\text{кн}}}}$$

Получение требуемой длительности  $\Theta_{\text{сп}}$  обычно может быть легко осуществлено подключением емкостей в некоторые точки формирователя.

Экспериментальные исследования поведения триггеров при выключении питания позволили установить, что при снятии питания с первичной обмотки силового трансформатора в неблагоприятном случае на вторичной обмотке возникают перенапряжения, которые приводят к появлению импульсной помехи, способной попадать на вход триггера и вызывать его переброс. Для устранения подобного явления следует параллельно первичной обмотке трансформатора включать емкость (величина ее подбирается экспериментально, обычно она составляет 0,5—2 мкф). Наличие емкости исключает резкое снятие напряжения с первичной обмотки силового трансформатора.

При каскадировании СТСИ приходится решать следующие задачи:

1) устранять влияние ложных выходных импульсов, возникающих во время восстановления информации (в особенности в схемах с базовой асимметрией);

2) исключать возможность переброса триггеров при снятии питания из-за влияния дифференцирующих цепей, связывающих триггеры.

Первая задача решается при необходимости коммутацией выходов триггеров. В работе приведено несколько простых вариантов решения этого вопроса.

Вторая задача легко решается выбором соответствующего значения длительности фронта спада коллекторного напряжения (желательно увеличивать  $\Theta_{сп}$ ).

В работе приведена разработанная автором принципиальная схема декады двоично-десятичного счетчика на триггерах с базовой асимметрией для интегратора автоматических конвейерных весов.

## ВЫВОДЫ

Основные результаты проведенной работы можно сформулировать следующим образом.

1. Проведена систематизация принципов построения триггеров с памятью и разработана классификация данных схем.

2. Разработаны четыре новых типа триггеров с памятью, на которые получены авторские свидетельства.

3. Проведен анализ регенеративной стадии в симметричном триггере при включении питания, что позволило установить малую эффективность емкостной асимметрии, как средства обеспечения направленного включения триггера.

4. Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование переходных процессов при включении питания в триггерах с базовой, коллекторной и эмиттерной асимметрией.

5. Определены критерии восстановления информации для триггеров различных классов.

6. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование быстродействия триггеров с памятью. При этом установлено, что быстродействие СТСИ зависит от потребляемой мощности, поэтому введено понятие относительного быстродействия. Для схем с базовой асимметрией относительное быстродействие может достигать  $\frac{750 \text{ кгц}}{l \text{ вт}}$  в то время, как для схем с коллекторной асимметрией, оно примерно втрое меньше.

7. Установлено, что применение схем с эмиттерной асимметрией, у которых цепи восстановления информации полностью сохраняются в режиме управления, нерационально из-за плохого переключения.

8. Разработан способ повышения быстродействия триггеров с памятью, который может быть применен в различных схемах СТСИ и позволяет получить такую же скорость переключения, как для обычного статического триггера.

9. Разработаны инженерные методы расчетов триггеров с памятью различных классов.

10. Исследованы особенности поведения СТСИ при снятии питающего напряжения.

11. Разработан формирователь фронтов питающего напряжения, содержащий пороговое устройство с гистерезисом, который обеспечивает надежную работу триггеров с памятью.

12. Разработан двоично-десятичный счетчик с памятью для интегратора автоматических конвейерных весов.

#### Материалы диссертации докладывались:

1) на всесоюзной межвузовской конференции «Научные основы создания высокопроизводительных полностью автоматизированных шахт с вычислительно логическим управлением» (г. Москва, 1966 г.);

2) на научной конференции Одесского политехнического института (г. Одесса, 1964 г.);

3) на XXVIII научной конференции Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова (г. Одесса, 1966 г., тезисы опубликованы);

4) на семинаре отдела управляющих машин института кибернетики АН УССР (г. Киев, 1967 г.).

#### По теме диссертаций опубликованы следующие работы:

1. Похило Н. П., Ковальчук И. А. Статические триггеры, сохраняющие информацию при перерывах питания. Автоматика и приборостроение, № 1, 1964.

2. Ковальчук И. А. Схемы на статических триггерах, сохраняющих информацию при перерывах питания. Автоматика и приборостроение, № 2, 1965.

3. Ковальчук И. А. Расчет статического триггера, сохраняющего информацию при перерывах питания. Известия ВУЗов СССР по разделу «Радиоэлектроника», № 5, 1967 (находится в печати).

4. Похило Н. П., Ковальчук И. А. Статический триггер на полупроводниковых триодах. Авторское свидетельство № 158152, кл. 42<sub>м</sub> 14<sub>02</sub>.

5. Похило Н. П., Ковальчук И. А. Статический триггер. Авторское свидетельство № 160035, кл. 42<sub>м</sub> 14<sub>02</sub>.

6. Ковальчук И. А. Статический триггер на полупроводниковых триодах. Авторское свидетельство № 185560, кл. 42<sub>м</sub>, 14.

7. Ковальчук И. А. Триггер. Авторское свидетельство № 185554, кл. 42<sub>м</sub>, 14.

---

Подписано к печати 18.IV.67 г. Формат бумаги 60×90/16

1,5 печ. л. 1,5 уч.-изд. л. БР 07214. Заказ № 2404. Тираж 200.

Городская типография управления по печати Одесского Облсполкома,  
ц. № 3, ул. Чижикова, № 17.