

6
А-60

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

П. Г. ВАСИЛЕНКО

На правах рукописи

МАГНИТНО-ЕМКОСТНЫЕ НАКОПИТЕЛЬНЫЕ
СЧЕТЧИКИ.

(Специальность 01.052 - Инженерная электрофизика)

Автореферат диссертации на соискание ученой степе-
ни кандидата технических наук.

Москва

1971

Работа выполнена на кафедре Инженерной электрофизики
Московского ордена Ленина энергетического института.

Научный руководитель - к.т.н., доц. Липман А.А.

Официальные оппоненты: д.т.н. Боярченков М.А.

к.т.н. Иоффе А.Ф.

Ведущее предприятие указано в решении Совета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1971 г.

Защита диссертации состоится в _____ 1971 г.
на заседании Совета факультета Автоматики и вычислитель-
ной техники Московского ордена Ленина энергетического ин-
ститута.

Отзывы (в двух экземплярах) просим направлять
по адресу: Москва, Е-250, Красноказарменная ул.,
д.14, Совет МЭИ.

О дне защиты будет объявлено в газете "Вечерняя
Москва". С диссертационной работой можно ознако-
миться в библиотеке.

Ученый секретарь
Совета МЭИ -

/Н.А.КОЧЕМАРОВ/

Магнитные накопительные счетчики (МНС), основанные на
принципе ступенчатого перемагничивания сердечника с прямоуголь-
ной петлей гистерезиса (ППГ), находят в настоящее время при-
менение в качестве основного, базового, элемента при созда-
нии ряда устройств, таких например, как элементы выдержки
времени, импульсные интеграторы, программно-временные устрой-
ства, устройства частотной аппаратуры контроля и управления,
частотомеры, счетчики ионизирующих излучений и др.

Целесообразность использования для этой цели многоустой-
чивых элементов, к которым относятся и МНС, обусловлена их вы-
сокой экономичностью, малым потреблением энергии, надежностью.
Важным свойством устройств, использующих МНС в качестве основ-
ного элемента, является их способность длительного хранения
записанной информации при отключении источников питания, что
выгодно отличает указанные устройства от устройств, построен-
ных на основе фазоимпульсных многоустойчивых элементов с ем-
костными накопителями или на основе триггерных декад.

Принцип действия МНС основан на способности сердечника
с ППГ устойчиво хранить не только крайние значения уровней на-
магничивания, но и практически любое множество промежуточных
уровней, которые определяются вольтсекундным интегралом им-
пульса записи.

Элементом, нормирующим приращение потока записи в нако-
пительном сердечнике в известных схемах МНС является сердеч-
ник с ППГ, аналогичный сердечнику накопительной ячейки. При
этом в схемах МНС с промежуточным формирователем элементом

нормировки является сердечник формирователя, а в схемах МНС с непосредственной связью - сердечник передающей ячейки. Такое широкое использование нормирующих свойств сердечника с ППГ, аналогичного сердечнику накопительной ячейки, обусловлено возможностью наиболее просто обеспечить стабильную работу МНС при воздействии дестабилизирующих факторов, в первую очередь, - при изменении температуры окружающей среды.

К недостаткам реализации схем МНС с нормированием коэффициента накопления при помощи сердечника с ППГ аналогичного сердечнику накопительной ячейки следует отнести следующие:

1) Энергетически невыгодно использовать во входном формирователе в качестве элемента нормировки сердечник с ППГ, поскольку формирователь строится таким образом, что его сердечник перемагничивается по полному циклу. При этом возрастает не только потребление от источника питания, но и ограничивается верхний предел частоты входного сигнала счетчика в целом, что обуславливается различием температур перегрева нормирующего сердечника формирователя, перемагничиваемого с частотой входного сигнала, и накопительного сердечника с частотой перемагничивания в коэффициент пересчета раз меньшей частоты входного сигнала.

2) Усложняется задача настройки счетчика на заданный коэффициент накопления, в особенности при построении счетчиков с относительно широким диапазоном изменения коэффициента пересчета.

3) В известных схемах МНС с непосредственной связью увеличение коэффициента накопления на каскад приводит к соответ-

ствующему увеличению нагрузки (по напряжению или току) на коммутирующие элементы.

4) При реализации схем МНС с непосредственной связью затрудняется задача обеспечения взаимозаменяемости накопительных ячеек.

5) При реализации схем МНС как с непосредственной связью так и с промежуточными формирователями, выполненными на сердечниках с ППГ, усложняется задача обеспечения стабильности накопления при низком напряжении питания из-за относительно-го увеличения потерь вольтсекундной площади импульса записи в цепи считывания (формирователя или передающей ячейки) и цепи связи.

Для устранения отмеченных недостатков в реферируемой работе предлагается использовать в качестве элементов нормировки коэффициента накопления МНС реактивные линейные элементы - конденсаторы или линейные дроссели (линейные трансформаторы).

Работа посвящена рассмотрению вопросов, связанных с построением магнитных накопительных счетчиков с нормированием коэффициента пересчета с помощью линейных реактивных элементов; анализу и методике расчета таких схем; методике их выходного контроля; построению ряда устройств автоматики на основе предложенных вариантов МНС.

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение и приложение.

Первая глава посвящена вопросам сравнительного анализа и классификации известных схем МНС, на основе которого выявляются недостатки реализации МНС с нормированием коэффициента накопления при помощи сердечника с ППГ, аналогичного сердечнику накопительной ячейки. Здесь же предлагаются пути устранения отмеченных недостатков при помощи построения МНС с линейными нормирующими элементами - конденсатором или индуктивностью (линейным сердечником).

При построении МНС возникают обычно две основные задачи:

- распознавание сигнала насыщения накопительного сердечника на фоне помех, обусловленных неидеальной формой петли гистерезиса (индикация переполнения сердечника на фоне помех);
- реализация петли связи между формирователем нормированных импульсов записи и накопительным элементом;

Соответственно этим двум основным задачам известные автору схемы МНС классифицируются на МНС с индикацией по напряжению и по току, а по типу межкаскадных связей на схемы:

- а) с прямой диодной связью; б) с транзисторной связью; и в) с параллельной диодной связью. Два последних типа связи из перечисленных выше нашли преимущественное применение при построении счетчиков с индикацией по напряжению, а первый - в схемах МНС с индикацией по току.

Сравнительный анализ рассмотренных в работе схем МНС проводится на основе следующих критериев: коэффициента использования по напряжению $K_{ин}$; коэффициента перенапряжений $K_{пн}$

и коэффициента перегрузки по току $K_{пi}$, показывающего кратность увеличения тока в цепи считывания МНС, обусловленного дополнительными потерями в элементах, исключаящих перенапряжение на коммутирующих транзисторах. В работе показано, что для схем МНС с прямой диодной связью, а также в схемах с другими типами межкаскадных связей, где перенапряжение исключается при помощи диода, шунтирующего обмотку записи с последовательно включенным индицирующим или дополнительным сопротивлением, коэффициент перегрузки по току пропорционален квадрату коэффициента накопления ($K_{пi} \sim N^2$).

Рассмотренные в работе схемы сведены в справочную таблицу с краткой количественной их характеристикой.

Предложено использовать в качестве нормирующих длительность интервала записи элементов формирователя (устройства записи) реактивные элементы - линейные конденсаторы и индуктивности. При этом значительно возрастает (в N раз) предельная частота счетчика по сравнению с МНС с элементом нормировки, выполненным на сердечнике с ППГ, аналогичном сердечнику накопительной ячейки.

Рассмотрен принцип формирования импульсов записи при линейном и экспоненциальном заряде емкости хранирующего конденсатора (или индуктивности дросселя). При линейном заряде длительность импульса может быть получена при значительно меньшей емкости или индуктивности и с большей точностью. Недостатком использования линейного заряда хранирующих элементов является сложность устройств записи, обусловленная необходимостью

создания источника тока (для заряда конденсатора) или источника напряжения (для заряда линейной индуктивности).

Рассмотрены возможные пути повышения стабильности длительности импульсов записи при экспоненциальном заряде хранирующих элементов. В рассматриваемых в работе устройствах записи (как нерегенеративных так и регенеративных) повышение стабильности процесса записи достигается при помощи отсечки тока базы коммутирующего транзистора в момент равенства напряжения (или тока) на времязадающем элементе опорному значению. Источник опорного напряжения (или тока) может быть: с постоянным опорным напряжением, с резисторным опорным делителем, с нелинейным пороговым элементом, с импульсным источником.

Определен оптимальный (обеспечивающий минимум погрешности времени записи) уровень дискриминации хранирующего элемента рассматриваемых устройств записи. Приводится зависимость дисперсии ошибки времени записи от уровня дискриминации для конденсаторного устройства записи; указанная зависимость имеет "размытый" минимум в области времен $0,3\tau < t < 1,2\tau$ (τ - постоянная времени времязадающей цепи RC). Это позволяет производить изменение времени записи и соответственно коэффициента накопления МНС примерно в 4-е раза за счет варьирования амплитуды напряжения опорного источника (в схемах МНС без индивидуальной настройки) без существенного увеличения погрешности.

Во второй главе рассматриваются и анализируются основные варианты МНС с конденсаторными нормирующими элементами - магнитно-емкостные накопительные счетчики. Нормирующий конденсатор в этих схемах включается либо в цепь обратной связи ждущего блокинг-генератора, выполненного непосредственно на накопительном сердечнике счетчика, либо в цепь связи между ячейками при их каскадном соединении, так что время записи (коэффициент накопления) определяется только внутренними параметрами схем, а начало процесса записи определяет входной импульс, подлежащий счету.

Вариант одной из первых схем магнитно-емкостного счетчика [Л.1, 6] изображен на рис. 1. Схема состоит из цепи считывания, представляющей собой заторможенный блокинг-генератор, собранный на транзисторе T_c , и регенеративного устройства записи с нормирующим конденсатором C , выполненного на транзисторе T_z . Цепь считывания обеспечивает индикацию переполнения счетчика по уровню э.д.с. помехи на обмотке $W\sigma$, возникающей на заднем фронте "последнего" N -го импульса записи, а также возврат накопительного сердечника в исходное, "нулевое" состояние. Цепи считывания подобного типа подробно рассмотрены в литературе; возможно также применение других известных вариантов цепи считывания.

В силу вышеизложенного в работе основное внимание посвящено анализу регенеративных устройств с тем или иным нормиру-

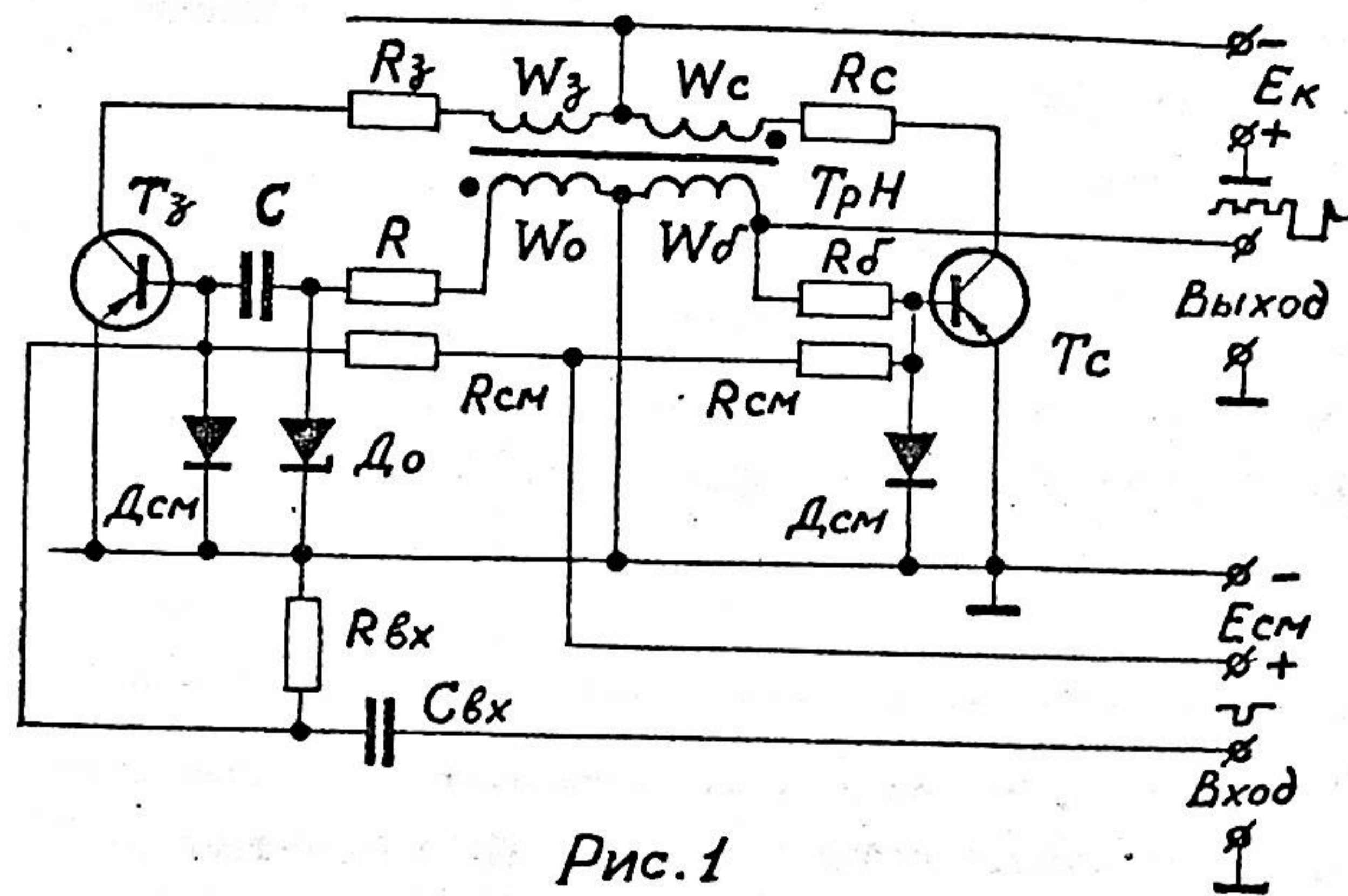


Рис. 1

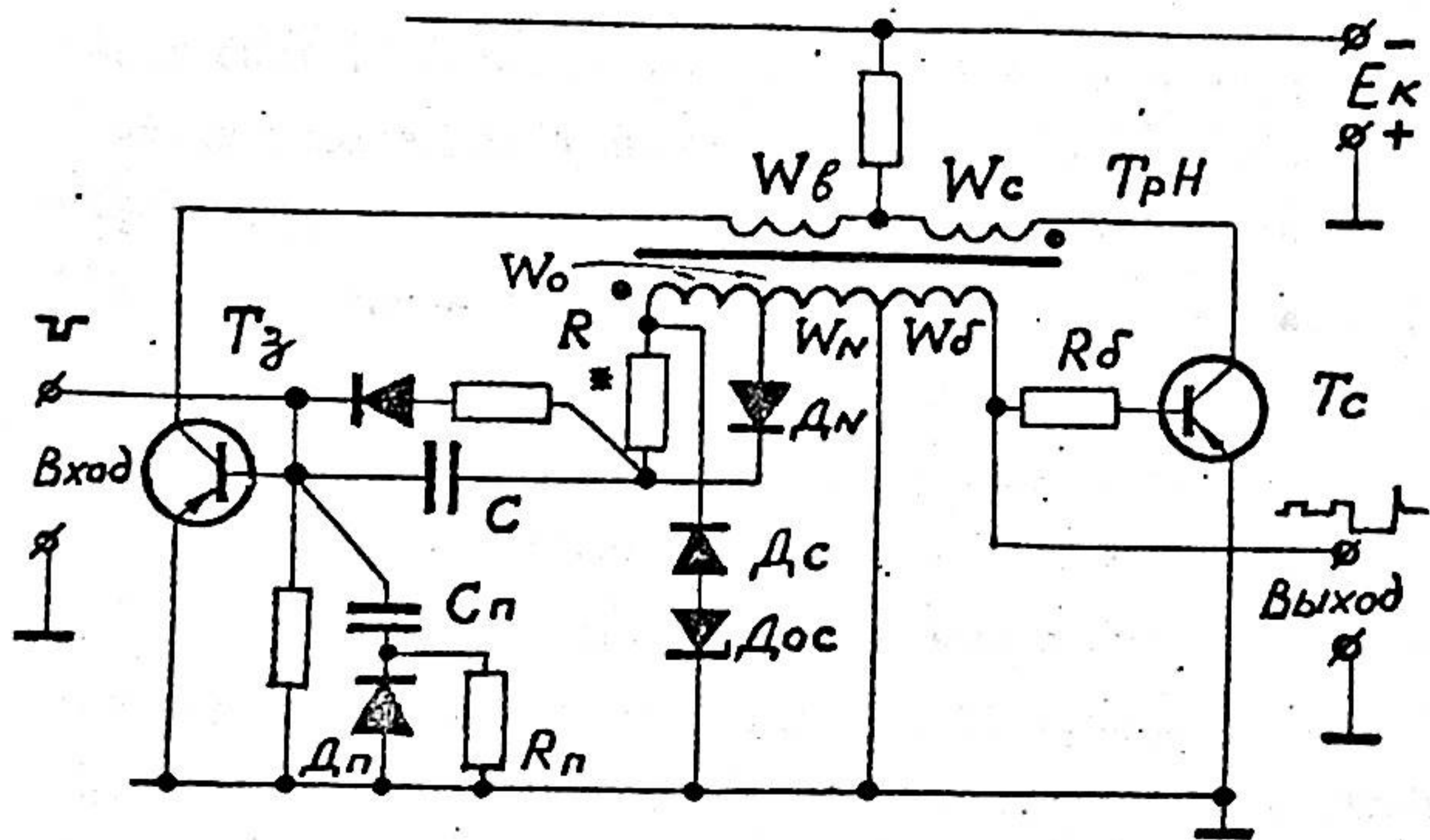


Рис. 2

ющим элементом. Для рассматриваемых схем выводятся соотношения, связывающие величины емкости с числом устойчивых состояний МНС и определяются количественные показатели $K_{ин}$, $K_{пн}$ и $K_{пi}$.

Для схемы МНС по рис. 1 приращение потока записи за один входной импульс определяется выражением:

$$\Delta \Phi_z = \frac{R q_0}{W_0} \quad (1)$$

т.е. пропорционально величине заряда q_0 , накопленного нормирующим конденсатором C к моменту отсечки базового тока транзистора T_z (при достижении напряжения на конденсаторе C уровня опорного напряжения E_0 или напряжения пробоя стабилитрона D_0).

Выражение (1) справедливо при выполнении следующих условий:

$$\frac{F_z R_z}{W_z} + U_{кэ} \ll E_k \quad (2)$$

$$K = \frac{E_0}{E_k} \cdot \frac{W_z}{W_0} \ll 1 \quad (3)$$

$$t_p \ll t_0 \quad (4)$$

где F_z - намагничивающая сила сердечника накопительного трансформатора в накопительных интервалах (интервалах записи),

R_z - полное активное сопротивление цепи записи при отк-

рытом транзисторе T_3 , t_p - время рассасывания транзистора записи, t_0 - длительность интервала записи, которая может быть оценена с помощью выражения /при выполнении условий (2) + (4)/:

$$t_0 \approx RCK \quad (5)$$

Расчетное значение коэффициента накопления счетчика в указанных условиях:

$$\nu = \frac{\Delta \Phi_{п}}{\Delta \Phi_{з}(1-\gamma)} = \frac{\Delta \Phi_{п} W_0}{R q_0 (1-\gamma)} \quad (6)$$

не зависит от напряжения питания E_k , а определяется величиной заряда q_0 и времязадающим сопротивлением R .

В выражении (6) приняты следующие обозначения:

$\Delta \Phi_{п}$ - поток переключения накопительного сердечника,

$\gamma = \Delta \Phi_0 / \Delta \Phi_{п}$ относительная величина обратимой составляющей потока $\Delta \Phi_0$.

С целью определения возможности работы рассматриваемого МНС при низком напряжении питания найдена зависимость относительного коэффициента влияния напряжения питания на приращение потока записи (α_{E_k}) в функции коэффициента трансформации $n = W_0 / W_3$ и относительной величины $\xi = E_0 / E_k$, а также зависимость минимально необходимого коэффициента усиле-

ния β транзистора записи T_3 в функции напряжения питания E_k . С увеличением коэффициента трансформации n при заданном значении ξ уменьшается α_{E_k} и минимально необходимое значение коэффициента усиления β , что позволяет строить рассматриваемый МНС для низких напряжений питания ($E_k = 3 + 5$ в).

Для схемы по рис. I количественные показатели $K_{пн}$, $K_{ин}$ и $K_{пi}$ имеют следующие значения:

$$K_{пн} = 1 + \nu \frac{t_z}{t_c}, \quad K_{ин} = 0,5 \text{ (при } W_3 = W_c), \quad K_{пi} = 1$$

Таким образом, для рассматриваемой схемы, в отличие от схем с непосредственной связью, жесткая связь между коэффициентом накопления и количественными показателями отсутствует (величина $K_{пн}$ может быть снижена до необходимого уровня при любом коэффициенте накопления за счет уменьшения отношения t_z / t_c , где t_z и t_c - время записи и считывания соответственно).

Основным недостатком схемы является влияние времени рассасывания транзистора записи, что ограничивает применение счетчика по рис. I областью аналоговых низкочастотных счетчиков, работающих с "процентной" точностью с "большим" коэффициентом накопления на каскад.

Повышение стабильности коэффициента накопления, исключение ограничений на разрешающее время счетчика за счет времени рассасывания транзистора записи достигнуто в схеме МНС, изображенной на рис. 2, [Л.2]. Отличительным признаком схе-

мы по сравнению с вышеописанной является включение параллельно обмотке обратной связи W_0 стабилизатора напряжения на стабилитроне D_{oc} и включение фиксирующего диода D_N к части витков обмотки обратной связи W_N . Введение импульсного стабилизатора преследует две цели:

1) фиксация скорости записи независимо от колебаний напряжения питания E_k без потребления в состоянии покоя ячейки;

2) исключение времени рассасывания транзистора записи.

Рассмотрены условия, при выполнении которых транзистор записи в процессе записи находится в активной области, что позволяет (при выполнении этих условий) исключить составляющую неустойчивости накопления, обусловленную временем рассасывания транзистора T_z . Обсуждаются меры по исключению "ложного" запуска транзистора записи от импульса помехи, возникающей на заднем фронте импульса считывания: включение туннельного диода параллельно переходу база-эмиттер транзистора записи, диода с накоплением заряда, конденсатора и нелинейного двухполюсника (конденсатор C_n , сопротивление R_n и диод D_n , рис.2). При применении в качестве транзистора записи транзисторов с малым резистивным сопротивлением тела базы и эмиттера (с целью повышения стабильности накопления) исключение "ложного" запуска целесообразно осуществлять при помощи нелинейного двухполюсника (уменьшается нагрузка на цепь считывания, увеличивается чувствительность к запускающему сигналу).

МНС по рис. 2 наиболее целесообразен при построении дискретных счетчиков с малым напряжением коллекторного питания ($K_{ин} > 1$ при $W_0 > W_6$), в качестве входной (буферной) ячейки с одновременным понижением частоты входных импульсов дискретных счетчиков других типов и т.п.

Показывается, что счетчики по рис.1 и рис.2 могут быть использованы в режиме "двойного" деления частоты: 1) синхронное деление частоты в N_i раз блокинг-генератором устройства записи, выполняющим при этом одновременно функцию формирования импульса записи и 2) деление частоты сформированных импульсов в N раз накопительным элементом на сердечнике с ППГ. При этом общий коэффициент деления счетного устройства:

$$N_{общ.} = n_i N$$

Перевод схем по рис.1 и рис.2 в режим "двойного" деления частоты осуществляется введением отрицательного смещения в цепь базы транзистора записи. Рассматриваются необходимые условия надежного деления частоты блокинг-генератором.

На основе МНС с непосредственной связью с последовательным возбуждением приемных ячеек и параллельным нормированием коэффициента накопления [Л.7], построен "аналоговый" счетчик с "большим" коэффициентом накопления на каскад с нормирующим конденсатором, включенным в цепь связи между ячейками [Л.3], рис.3. При этом длительность интервала записи последующего разряда счетчика определяется временем заряда нормирующего

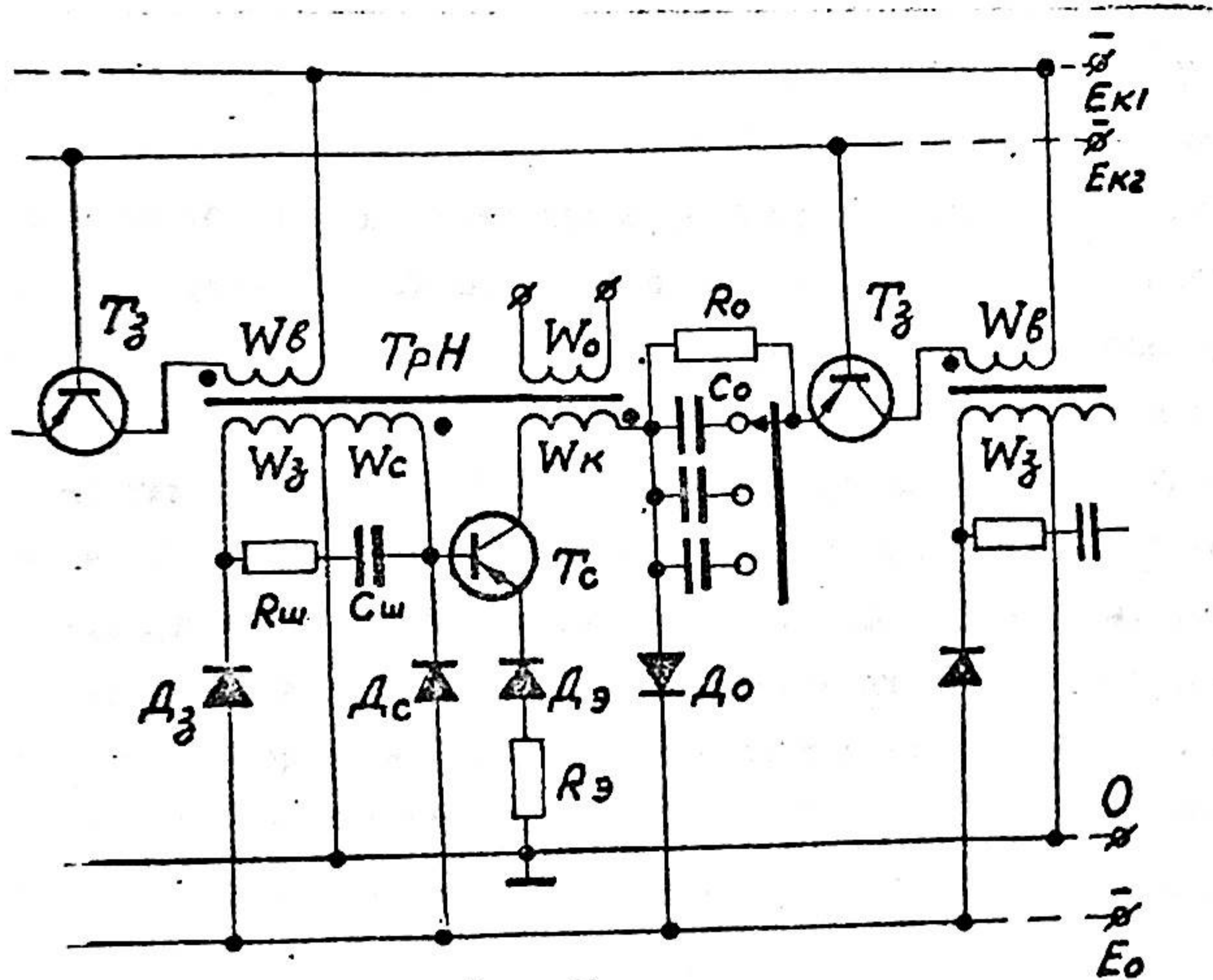


Рис. 3

шего конденсатора C_0 постоянным коллекторным током коммутирующего транзистора T_c передающей ячейки до момента открытия диода D_0 (открытие диода D_0 происходит при достижении напряжения на конденсаторе C_0 величины $(E_{K2} - E_0)$). За счет низкого входного сопротивления транзистора связи, включенного по схеме с общей базой, и малого дифференциального сопротивления диода D_0 , достигается высокая стабильность длительности интервала записи. Рассмотрены соотношения, определяющие работу МНС. Показано, что коэффициент накопления такого МНС обратно пропорционален величине заряда, накаплива-

емого нормирующим конденсатором к концу интервала записи в каждом интервале считывания передающей ячейки:

$$V = \frac{\Delta \Phi_{п}}{(1-\gamma)} \cdot \frac{W_3}{R_3 q} \cdot \alpha_1 \quad (7)$$

где $q = C_0 (E_{K2} - E_0)$ - заряд конденсатора C_0 , α_1 - коэффициент усиления транзистора T_3 , включенного по схеме с общей базой.

Коэффициенты $K_{пн}$, $K_{ин}$, $K_{лн}$ МНС, выполненного по схеме рис.3, также как и в ранее рассмотренных схемах не зависят от коэффициента накопления.

Среди рассмотренных МНС с конденсаторными нормирующими элементами лучшие технико-экономические показатели обеспечивает схема счетчика с базовым нормирующим элементом и с фиксацией скорости записи, рис.2; детальному анализу этой схемы, исследованию стабильности накопления; решению круга вопросов, связанных с настройкой МНС на заданный диапазон изменения коэффициента накопления посвящена третья глава реферируемой работы.

Вопросы исследования переходных процессов в схеме МНС, рис.2, включают в себя анализ "быстрых" и "медленных" процессов. Анализ преследует следующие цели:

I. Нахождение приращения потока записи в накопительном сердечнике TrH за один входной импульс с тем, чтобы можно было производить выбор номиналов компонентов схемы исходя из

заданного коэффициента накопления.

2. Нахождение соотношения, связывающего величину емкости конденсатора $C_{п}$ с параметрами элементов цепи считывания, обеспечивающее подавление ложной подзаписи.

3. Оценка условий запуска устройства записи.

При нахождении приращения потока записи в накопительном сердечнике T_{pH} предполагалось, что после окончания входного импульса запуска (короткого по сравнению с формируемой длительностью интервала записи) транзистор записи выходит из режима насыщения и изменение его коллекторного тока происходит по экспоненциальному закону с постоянной времени, определяемой базовой цепью блокинг-генератора. Получено выражение для приращения потока записи в функции параметров элементов схемы:

$$\Delta \Phi_z = \frac{1}{W_0} \left[U_{ст} + U_{\partial} - \frac{F_3 (r_{w_0} + r_{\partial c} + r_{\partial \partial})}{W_0} \right] t_{z_0} + \frac{1}{W_0} \tau'_{экв.} \left[U_{ст} + U_{\partial} - E_{\delta_0} + \frac{r_{\partial c} + r_{\partial \partial}}{W_0} F_3 \right] \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{z_0}}{\tau_1}} \right), \quad (8)$$

где t_{z_0} - время записи определяется следующим образом:

$$t_{z_0} = \tau_1 \ln \frac{1 + \frac{n'}{n} \frac{r_{w_0} \beta + (r_{\partial c} + r_{\partial \partial}) (\beta - n) - \frac{n}{n'} r_{\partial x}}{R_{экв.}}}{1 - \frac{n' [U_{ст} + U_{\partial} - \frac{F_3 (r_{w_0} + r_{\partial c} + r_{\partial \partial})}{W_0}] - (E_{\delta_0} - U_{\partial n})}{U_{ст} + U_{\partial} - E_{\delta_0} - \frac{F_3 (r_{\partial c} + r_{\partial \partial})}{W_0}}};$$

$$R_{экв.} = r_{\partial x} + (r_{\partial \partial} + r_{\partial c}) \left(\frac{\beta - n}{n} \right) + R$$

$$\tau_1 = R_{экв.} \cdot C$$

$$\tau'_{экв.} = [r_{w_0} \beta + (r_{\partial c} + r_{\partial \partial}) (\beta - n)] \cdot C$$

В выражении (8) приняты следующие обозначения:

$$n' = \frac{W_N}{W_0} ; \quad n = \frac{W_0}{W_6} ;$$

$r_{\partial x}$ - входное сопротивление транзистора

r_{w_0} - активное сопротивление обмотки

$r_{\partial \partial}$ и $r_{\partial c}$ - дифференциальное сопротивление стабилитрона

D_{oc} и диода D_c .

$U_{ст}$, U_{∂} , $U_{\partial n}$, E_{δ_0} - параметры аппроксимации вольтамперных характеристик стабилитрона D_{oc} , диода D_c , D_n и характеристики перехода база-эмиттер транзистора T_3 соответственно;

$$\text{При} \quad E_{\delta_0} + \frac{F_3 (r_{w_0} + r_{\partial c} + r_{\partial \partial})}{W_0} \ll U_{ст}$$

$$R \gg r_{\partial x} + r_{\partial \partial} + r_{\partial c}$$

$$\tau'_{экв.} \ll \tau_1$$

приращение потока записи может быть оценено с помощью выражения:

$$\Delta \Phi_z = \frac{U_{ст}}{W_0} \cdot \ln \frac{1}{1 - n'}$$

На максимальную величину времязадающего сопротивления или на минимальную величину коэффициента усиления транзистора записи наложены ограничения, которые вызваны тем, что для надежного запуска устройства считывания поток в сердечнике TpH в завершающем интервале записи должен достигать номинального значения Φ_H , гарантируемого обычно при номинальном значении намагничивающей силы $F_{ном.}$:

$$F_{ном.} \approx (1,5 \div 2) F_{\tau}$$

где F_{τ} - усредненное значение намагничивающей силы сердечника при скорости перемагничивания:

$$\frac{d\Phi_3}{dt} \approx \frac{U_{ст}}{W_0}$$

Выведенные ограничения совместно с (8) позволяют определить параметры элементов устройства записи, исходя из заданного значения $\Delta\Phi_3$ при известных параметрах сердечника накопительного трансформатора TpH .

Рассмотрены основные соотношения, определяющие выбор величины емкости конденсатора C_n , обеспечивающей исключение "подзаписи" от импульса помехи, возникающей на заднем фронте импульса считывания. Показано, что величина емкости C_n , необходимая для надежного подавления импульса помехи, может быть оценена с помощью выражения (критерий отсутствия запуска

$$U_{cn}(t) \geq 0):$$

$$C_n \geq \frac{I_0 L}{U_0 R} \cdot \frac{1}{1 - U_0 / I_0 R}, \quad (9)$$

где $I_0 = \frac{F_{\tau cm}}{W_0}$ - начальное значение тока в индуктивности

L_0 обмотки W_0 ($F_{\tau cm}$ - н.о. сердечника TpH в конце интервала считывания); U_0 - начальное значение напряжения на конденсаторе C_n .

Выражение (9) получено при допущении, что за время действия импульса помехи времязадающий конденсатор C не успевает сколь-нибудь существенно зарядиться, т.е. $C = \infty$, причем $U_c(0) = 0$.

Проведен анализ устойчивости блокинг-генератора устройства записи, описываемого линейным дифференциальным уравнением третьего порядка, по критерию устойчивости Рауса-Гурвица. Записаны условия возникновения "лавинного процесса", которые справедливы как для цепи записи, так и для цепи считывания и носят общий характер. Показано, что в блокинг-генераторах, в которых с целью повышения помехоустойчивости база-эмиттерный переход коммутирующего транзистора зашунтирован конденсатором (C_n), для возникновения блокинг-процесса должно выполняться следующее соотношение:

$$\frac{\tau_n}{\tau_{LK}} < n \quad (10)$$

где $\tau_n \approx RC_n$ - постоянная времени базовой цепи,

$\tau_{Lk} = L_k / r_{\delta 0} (1 - \alpha) + r_{\delta}$ - постоянная времени коллекторной цепи;

L_k - индуктивность коллекторной обмотки W_6 ; $r_{\delta 0}$,

r_{δ} и α - соответственно начальные сопротивления базы и эмиттера транзистора T_3 и его коэффициент усиления.

показано, что введение последовательно с конденсатором C_n диода D_n с параллельно ему включенным сопротивлением R_n позволяет облегчить выполнение условий самовозбуждения, практически не ухудшая помехоустойчивости блокинг-генератора.

Исходной предпосылкой при решении вопросов, связанных с настройкой МНС на заданный диапазон изменения коэффициента накопления и обеспечением его стабильной работы является знание оптимальной величины приращения потока записи в сердечнике накопительного трансформатора $\Delta \Phi_3 \text{ опт.}$, обеспечивающей минимум вероятности отказа типа "сбой" коэффициента накопления, и величины допуска на абсолютное отклонение величины Z - относительного уровня потока записи $\Phi(N-1)$ в конце $(N-1)$ интервала записи.

Оптимальное значение приращения потока записи в сердечнике накопительного трансформатора схемы МНС при коэффициенте накопления N определяется выражением:

$$\Delta \Phi_3 \text{ опт.} = \frac{\Delta \Phi_n}{\sqrt{N(N-1)}}, \quad (II)$$

Выражение (II) справедливо при идеальных условиях ($\alpha = 1$, $\Delta \Phi_0 = 0$) и было получено при допущении о нормаль-

ном законе распределения величины $\Delta \Phi_3$.

Допуск на величину Z определяется следующим образом:

$$d = \frac{0.5}{\sqrt{N(N-1)}} - 0.25(1 - \bar{\alpha}) - 0.5 \bar{\gamma} \quad (I2)$$

где $\bar{\alpha}$ и $\bar{\gamma}$ - среднее значение коэффициента прямоугольности и относительной величины обратной составляющей потока $\Delta \Phi_0$.

Выражения (II) (с учетом $\Delta \Phi_0$) и (I2) совместно с соотношением (8), связывающим величину приращения потока записи от величины компонентов схемы, являются исходными для решения сформулированных в работе задач - задачи настройки МНС на заданный диапазон изменения коэффициента накопления и задачи обеспечения стабильности коэффициента накопления.

В качестве органа настройки целесообразно использовать в рассматриваемом МНС времязадающий резистор R . При этом величина сопротивления резистора настройки должна удовлетворять выведенным ранее ограничительным условиям.

Расчет диапазона настройки МНС проведен методом статистических испытаний (методом Монте-Карло) на ЦВМ "Минск-22". Числовые характеристики распределений параметров компонентов, полученные на основании результатов испытаний компонентов, приведены в приложении диссертации. Целесообразность использования расчета диапазона настройки МНС методом статистических испытаний показана на примере сравнения резуль-

татов расчета $R_{настр}$ по методу "наихудшего" сочетания параметров и по методу Монте-Карло. Приводится блок-схема программы вычислений.

Проведено исследование температурной стабильности коэффициента накопления. Из выведенного в работе условия полной компенсации систематического температурного ухода абсолютной величины отклонения Z определены требования к температурному коэффициенту элемента термокомпенсации, в качестве которого в рассматриваемом МНС используется времязадающий конденсатор C с отрицательным температурным коэффициентом.

Для реальной схемы МНС по известным статистическим характеристикам температурных коэффициентов элементов схемы определены вероятности безотказной работы в функции температуры окружающей среды (при условии оптимальной настройки: $\Delta\Phi_3 = \Delta\Phi_{3\text{опт}}$) для случая: оптимальной термокомпенсации ("нулевой" систематический уход величины Z) $/m(Z) = 0/$, перекомпенсации $/m(Z) < 0/$ и недокомпенсации $/m(Z) > 0/$.

Для уменьшения вероятности сбоя коэффициента накопления необходимо осуществлять (при нормальных условиях) точную настройку схемы МНС на оптимальный уровень потока записи, стремиться к полной компенсации систематического температурного ухода величины Z и применять элементы с малым разбросом температурных коэффициентов их параметров, особенно тех элементов, параметры которых оказывают наибольшее влияние на исследуемую величину Z . Такими параметрами рассматриваемой

схемы МНС являются следующие: сопротивление времязадающего резистора R и емкость конденсатора C , напряжение стабилизации стабилитрона $\Delta\phi_{ос}$ и падение напряжения на фиксирующем диоде ΔV .

Приводится методика экспериментального исследования запаса стабильности накопления МНС, пригодная как при контрольных испытаниях, так и непосредственно в условиях эксплуатации. В качестве меры стабильности нами принят допустимый диапазон изменения сопротивления времязадающего резистора R , который связан с коэффициентом накопления N следующим образом:

$$d_R = \frac{R_{\text{макс.}} - R_{\text{мин.}}}{R_{\text{опт.}}} = \frac{1}{\sqrt{N(N-1)}}, \quad (13)$$

где $R_{\text{опт.}}$ - значение сопротивления резистора R , при котором запас стабильности максимальный ($\Delta\Phi_3 = \Delta\Phi_{3\text{опт}}$).

Изменение произвольного i -го параметра схемы пересчитывается в эквивалентное изменение величины R по следующей формуле:

$$\Delta R = d_i \frac{\Delta x_i}{\bar{x}_i} R_{\text{опт.}} \quad (14)$$

где d_i - относительный коэффициент влияния i -го параметра схемы на величину $\Delta\Phi_3$. Коэффициенты влияния параметров реальной схемы сведены в справочную таблицу.

Выражение (14) совместно с (13) позволяет оценить

влияние параметров схемы на коэффициент накопления и являются исходными при экспериментальном исследовании запаса стабильности.

Полученные результаты подтверждаются экспериментальными исследованиями характеристик стабильности реального магнитно-емкостного счетчика, выполненного по схеме рис.3.

Четвертая глава посвящена вопросам построения и анализа МНС с индуктивным нормирующим элементом - линейным дросселем или трансформатором.

Построение устройств записи на линейной индуктивности (в силу принципа дуальности) аналогично построению рассмотренных в первой главе магнитно-емкостных устройств записи. Рассмотрены процессы, происходящие в устройствах записи с линейным и экспоненциальным зарядом индуктивности, и меры по стабилизации интервала записи в случае экспоненциального заряда.

Показано, что в отличие от магнитно-емкостных счетчиков, где приращение потока записи в сердечнике накопительного трансформатора определялось величиной заряда на емкости храниющего конденсатора, в индуктивных устройствах записи (при любом виде заряда) приращение потока записи пропорционально значению потокосцепления катушки индуктивности в момент дискриминации t_x (по току или напряжению).

Описаны варианты МНС с регенеративным устройством записи на "линейном" сердечнике с разделением функций формирования импульсов записи и их накопления. Выделена схема МНС, рис. 4,

обладающая лучшими техническими показателями, устройство записи которой реализовано на отдельном блокинг-генераторе (транзистор T_3 и трансформатор $Trл$ на линейном сердечнике).

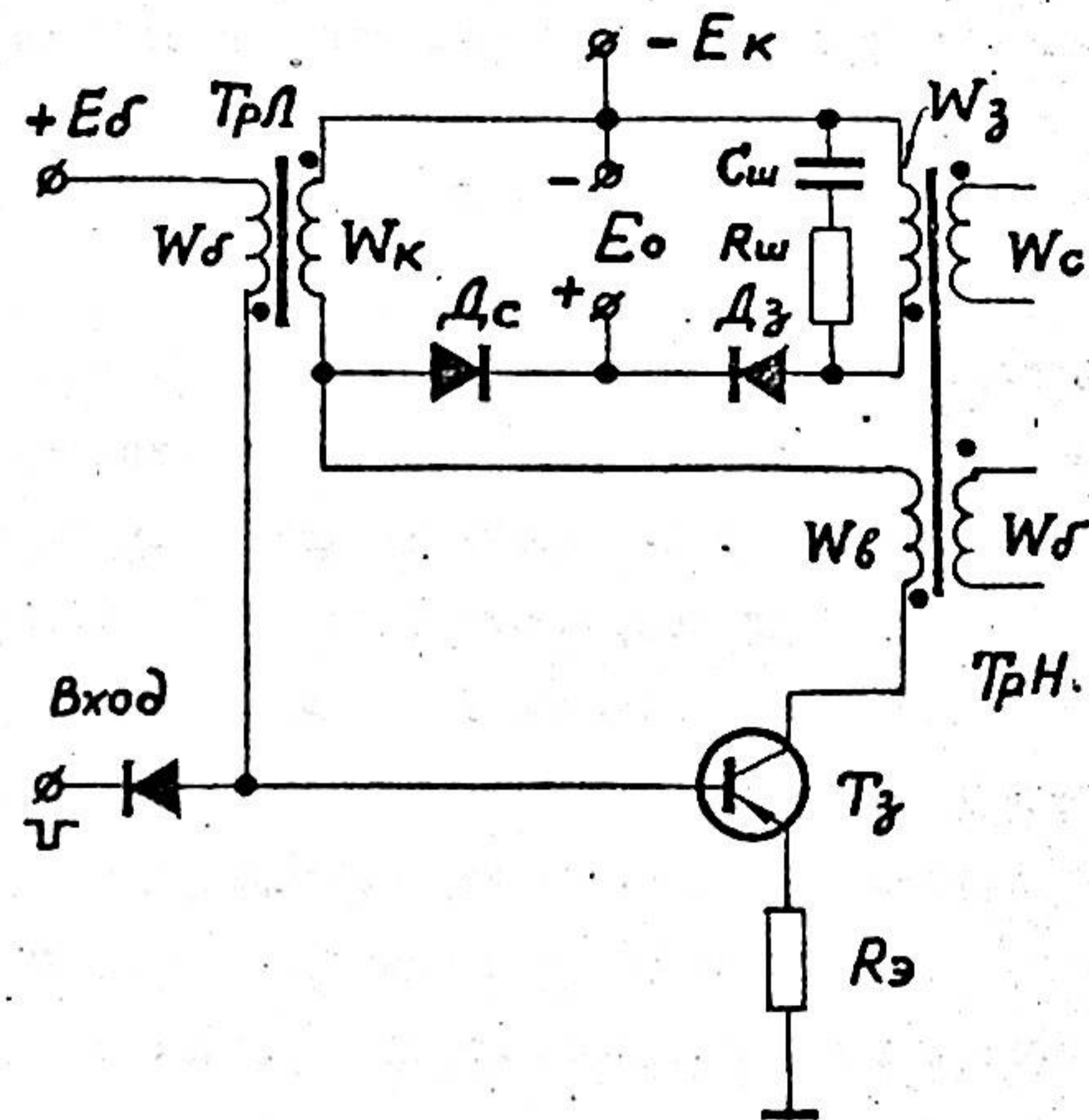


Рис. 4.

Функцию накопления выполняет трансформатор $Trн$ с обмотками записи $W_з$ и возбуждения $W_б$. Цепь считывания может быть выполнена по любой из известных схем.

Повышение стабильности функциональных характеристик достигается путем ограничения скорости перемagnetивания сердечников в сочетании со стабилизацией эмиттерного тока транзистора в процессе формирования плоской вершины генерируе-

мого импульса. Ограничение скорости перемagnetизирования обеих сердечников осуществляется стабилитроном D_0 или стабилизированным источником опорного напряжения, подключенными через фиксирующие диоды D_1 и D_2 к обмоткам W_k и W_z . Цепь связи выполнена по схеме с последовательным возбуждением и параллельной передачей вольтсекундной площади импульса записи, аналогично МНС с непосредственной связью с последовательным возбуждением [Л.7].

Проведен детальный анализ схемы с целью определения соотношений, позволяющих производить ее инженерный расчет.

Сделано сравнение схем МНС с двумя типами нормирующих элементов. Показано, что при построении быстродействующих счетчиков следует отдать предпочтение МНС с линейными нормирующими элементами (конденсатором или катушкой индуктивности). Из-за гистерезиса кривой намагнетизирования ленточных "линейных" сердечников область применения МНС с нормирующим сердечником ограничивается областью относительно низкочастотных счетчиков ("частотность" таких счетчиков все же существенно выше, чем МНС с непосредственной связью с нормирующим сердечником с ППГ).

В пятой главе на основе предложенных и рассмотренных схем приведены примеры практического применения МНС.

Описана схема реле времени канала перегрузки устройств максимальной токовой защиты (автоматических выключателей). Канал перегрузки построен по схеме: входной релейный элемент;

одновибратор с диодно-регенеративным блоком сравнения; МНС, выходной сигнал которого подается на управляемый диод, подключающий катушку отключающего электромагнита к накопительному конденсатору. Применение МНС с линейными нормирующими элементами позволяет выполнить диодно-регенеративный блок-сравнения (компаратор) и счетчик импульсов на одном сердечнике с ППГ.

На основе магнитно-емкостного счетчика построено простое вычитающее устройство на одном сердечнике с ППГ с памятью $m > 1$, что дает возможность уменьшить погрешность измерения разности импульсов при кратковременном превышении импульсов по каналу вычитания, обусловленном статистическими флуктуациями.

Применение принципа нормирования импульсов записи на линейных элементах позволило создать экономичный МНС с перестраиваемым коэффициентом накопления с практически нулевым потреблением в состоянии покоя, работающий при низких напряжениях питания (3-5 вольт), предназначенный для работы в переносных устройствах.

На базе основного варианта магнитно-емкостного счетчика создана индицируемая декада с частотой входного сигнала до 500 кГц, для работы в цифровых измерительных устройствах.

Разработана схема генератора "досчета" на основе магнитно-емкостного счетчика, представляющего собой датчик пачки 10 импульсов и предназначенного для вывода информации, записан-

ной в счетчик, без ее разрушения (с регенерацией).

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1. Предложены новые схемы магнитных накопительных счетчиков импульсов с линейными нормирующими элементами, позволившие решить поставленные задачи.

2. Проведен анализ схем МНС с целью определения соотношений, пригодных для инженерного проектирования; исследованы основные факторы, определяющие стабильность работы счетчиков.

3. Дана методика настройки счетчиков на заданный диапазон изменения коэффициента накопления.

4. Дана методика обеспечения температурной стабильности накопления.

5. Разработана методика определения запаса стабильности в условиях выходного контроля.

6. На базе предложенных решений разработан ряд конкретных устройств автоматики, нашедших практическое применение.

Основные разделы работы доложены на XIII Всесоюзном совещании по магнитным элементам автоматики и вычислительной техники (1970 г.), на научно-технической конференции МЭИ по итогам НИР за 1968-1969 г., на I научно-технической конференции Томского института радиоэлектроники и электронной техники по итогам научно-исследовательских работ за 1962-1968 г.г.

По теме диссертации имеются следующие работы автора:

1. Василенко П.Г. "Магнитный накопительный счетчик импульсов", Авт.свидетельство № 251964, Бюллетень изобретений, № 28, 1969.

2. Липман А.А., Василенко П.Г., "Магнитный накопительный счетчик", Авторское свидетельство № 295202, Бюллетень изобретений № 7, 1971.

3. Василенко П.Г., "Магнитный накопительный счетчик с промежуточным емкостным формирователем", Доклады НТК МЭИ за 1968-1969 г.г., Секция автоматики, вычислительной и измерительной техники, Подсекция ИЭФ, Изд.МЭИ, 1969.

4. Отчет по научно-исследовательской работе "Разработка комплекса элементов для построения счетных, программных и временных устройств на основе гистерезисных накопительных ячеек", № 236/67, ОНИР МЭИ, 1969, том.I, № государственной регистрации 69031697.

5. Василенко П.Г., "Магнитные накопительные счетчики с формирователями на линейных элементах", Тезисы докладов на XIII Всесоюзном совещании по магнитным элементам автоматики и вычислительной техники, Минск, 1970.

6. Василенко П.Г., Липман А.А., "Магнитно-емкостной накопительный счетчик", В трудах XII Всесоюзной конференции по магнитным элементам автоматики и вычислительной техники (в печати).

7. Василенко П.Г., Дмитриев В.М., Липман А.А., Попов В.В., "Магнитный накопительный счетчик", Решение Комитета по делам изобретений и открытий о выдаче авторского свидетельства по заявке № 1388674/18-24 с приоритетом от 25.12.1969г.

8. Могилевский Г.В., Сосков А.Г., Смилянский И.И., Василенко П.Г., "Расцепитель максимального тока для автоматических выключателей переменного тока", Авт.свидетельство № 218906, Бюллетень изобретений № 18, 1968.

9. Могилевский Г.В., Сосков А.Г., Смилянский И.И., Райнин В.Е., Василенко П.Г., Коломийцев В.Д. и Стародубцев Е.Б., "Реле времени для устройств максимальной токовой защиты", Авт.свидетельство № 222502, Бюллетень изобретений № 23, 1968.

10. Василенко П.Г., Гольдман В.М., Златин А.Л., Липман А.А. "Применение магнитных накопительных счетчиков в необслуживаемых автоматических метеостанциях", Труды НИИГМП, Выпуск 26, (в печати).

Д-45094 П.У-71г. Объем I, 3п.л. Зак. 1039 Тир. 180 экз. Бесплатно

Ротапринт МЭИ, Красноказарменная, 14.