

фаза которой изменяется на 180° при смене полярности входного сигнала и делает устройство чувствительным к полярности. Высокая частота модуляции — 10 кГц — позволяет сократить переходные процессы в тракте до 5 мс . Сопротивление сигнальной обмотки модулятора 10 кОм . Усилитель МУ с модулятором охвачен последовательной отрицательной обратной связью по напряжению глубиной в 40 дБ , благодаря чему статическое входное сопротивление составляет 1 МОм на самом чувствительном по напряжению пределе. Тщательная отработка режима и конструкции магнитного модулятора позволила получить уровень шумов, не намного превышающий тепловые шумы входной обмотки, и реализовать в приборе ВК2-20 дискретность 1 мкВ по напряжению и $0,1 \text{ нА}$ по току.

Прибор обеспечивает измерение напряжений на 6 и токов на 8 шкалах с погрешностью не более $0,2\%$ от измеряемой величины плюс единица дискретности. Подавление последовательной помехи частоты питающей сети 60 дБ , помехи общего вида 120 дБ при времени измерения 40 мс . Внешний вид прибора ВК2-20 представлен на рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Асаевич, И. М. Вишенчук. Стробоскопическое цифровое табло.—Республиканский межведомственный сб. «Контрольно-измерительная техника», вып. 9, Львов, 1970.
2. Я. Н. Гнатив, Э. Б. Казанс, Р. С. Кравцов. О выборе системы логических элементов.—Республиканский межведомственный сб. «Контрольно-измерительная техника», вып. 9, Львов, 1970.

Поступило в редакцию
1 июля 1971 г.

УДК 621.317.7.083.92

П. Н. ДИМИТРАКИ, С. Н. ДИМИТРАКИ
(Кишинев)

МНОГОУСТОЙЧИВЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Разработка малогабаритных и экономичных устройств цифровой измерительной и счетно-вычислительной техники — одно из важных направлений современной микроэлектроники. Наиболее просто эта задача решается с помощью динамических методов индикации [1], основанных на применении многоустойчивых элементов (МЭ). Наличие индуктивностей затрудняет реализацию широко известных МЭ в интегральном исполнении.

В данной работе приводятся три относительно простые схемы МЭ без индуктивностей, которые работают в разных диапазонах длительностей тактовых импульсов. Все три схемы получены на базе генератора [2, 3], образованного из электрического моста и нуль-органа, совмещающего в себе компаратор и регенеративный ключ.

При замене в этом генераторе зарядного резистора диодом получается МЭ (рис. 1), работающий устойчиво при минимальных длительностях тактовых импульсов $0,5\text{—}1 \text{ мкс}$. В исходном состоянии транзисторы T_1 и T_2 регенеративного ключа заперты напряжением смещения ($U_{см}$) с делителя напряжения на резисторах R_1 и R_2 , конденсатор C разряжен до величины напряжения, равного остаточному напряжению насыщенных транзисторов T_1 и T_2 . При воздействии на вход схемы каждого тактового импульса положительной полярности напряжение на конденсаторе получает приращение и от импульса к импульсу меняется ступенчато. Как только напряжение на конденсаторе незначительно превышает напряжение $U_{см}$, транзисторы открываются и скачком переходят в режим насыщения, а конденсатор разряжается через их малое внутреннее сопротивление. По мере разряда конденсатора эмиттерный ток транзисторов уменьшается и когда достигает величины, равной току выключения регенеративного ключа, транзисторы переходят в режим отсечки, и процесс накопления напряжения на конденсаторе при воздействии тактовых импульсов повторяется.

Быстрый процесс перехода транзисторов из режима отсечки в режим насыщения и наоборот обусловлен наличием регенеративного кольца, которое образуется благодаря тому, что база каждого транзистора соединена с коллектором другого. В таком регенеративном кольце коллекторный ток каждого транзистора является одновременно базовым током второго транзистора и поэтому возникает глубокая положительная обратная связь по току, благодаря которой к концу только первого цикла ток в регенеративном

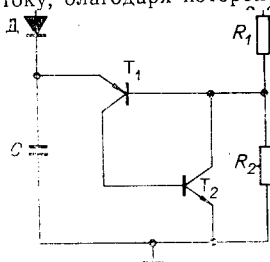


Рис. 1.

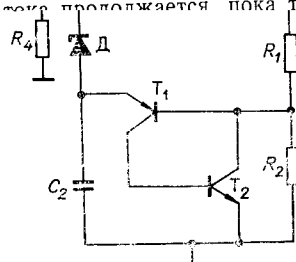


Рис. 2.

Включение транзисторов происходит при

$$U_C(n) = U_{ср}, \quad (1)$$

а выключение при

$$I_3 = I_{\text{выкл}} \approx 2,5 I_1,$$

где $U_{ср} = U_0 + U_{\text{п}} + I_{\text{п}} R_2 - 2I_{\text{к0}} \beta_2 R_1$; $U_0 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ — опорное напряжение,

I_1 — коллекторный ток T_1 при $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$; $I_{\text{п}}$ — ток участка база-эмиттер транзистора T_1 , соответствующий резкому излому входной вольт-амперной характеристики при ее линейной аппроксимации.

Несмотря на простоту схемы рис. 1, ее недостатком является неработоспособность при длительностях тактовых импульсов менее 0,5—1 мкс.

Для создания МЭ наносекундного диапазона зарядная цепь должна иметь малую прямую и большую обратную постоянные времени. Использование в качестве зарядного элемента кремниевого стабилитрона со смещенной рабочей точкой в области, близкой к пробойной, позволило создать МЭ (рис. 2), отличающийся достаточно высоким быстродействием и работающий от тактовых импульсов с длительностью 0,03—0,05 мкс. Это достигается благодаря тому, что прямое дифференциальное сопротивление некоторых типов стабилитронов не превышает 5—20 Ом, а обратное сопротивление велико — 5—10 МОм.

Схема рис. 2 работает аналогично схеме рис. 1 с той лишь разницей, что заряд конденсатора происходит через малое сопротивление стабилитрона, работающего в области пробоя.

Количество устойчивых состояний в этих схемах определяется напряжением $U_{см}$ постоянными времени зарядной (τ_3) и разрядной (τ_p) цепей, параметрами тактовых импульсов.

Подставив в (1) значение $U_C(n)$ из [4] после разложения его степенных функций в ряд и некоторых преобразований, получим выражения для определения числа n устойчивых состояний МЭ:

$$n = \frac{U_{ср}}{U_m} \left(1 + \frac{\tau_3}{\tau_p} \right) (Q - 1), \quad (2)$$

где Q — скважность тактовых импульсов;

$$\tau_3 = C(R_{\text{пр}} + R_i); \quad \tau_p = C_2 \left(\frac{1}{R_y} + \frac{1}{R_{\text{обп}}} + \frac{1}{K_{\text{э0}}} \right);$$

$C = C_1 + C_2$; R_i — внутреннее сопротивление источника тактовых импульсов;

R_y , $R_{обр}$, $R_{э0}$ — сопротивления утечки конденсатора и смещенных в обратных направлениях диода и транзистора T_1 со стороны его эмиттера.

Несмотря на простоту этих схем, их недостатком является нелинейность зарядных характеристик конденсатора, что ограничивает возможность получения большого значения n при высокой стабильности. Этот недостаток в значительной мере устраняется, если заряд конденсатора осуществлять через линеаризующий эмиттерный повторитель (рис. 3), принцип работы которого описан в работах [5, 6]. Если считать в этом случае зарядный ток (I_0) постоянным, то без учета утечки и скажности число устойчивых состояний определяется

$$n = \frac{U_{cp} C_2}{I_0 t_H} \quad (3)$$

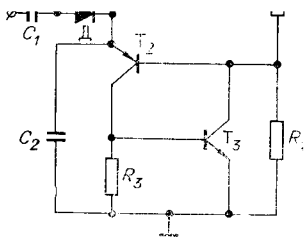


Рис. 3.

пульсов выириалась в зависимости от типа схемы.

В схеме рис. 1 в качестве зарядного элемента использовались высокочастотные импульсные мезодиоды ДЗ11, ДЗ12 и планарные диоды типа 2Д503.

Эксперимент показал, что схема работала устойчиво с этими диодами при длительностях тактовых импульсов не менее 0,5—1,0 мкс и амплитудой 5—10 В. В схеме рис. 2 использовались кремниевые стабилитроны типа КС, Д808, Д818Е. Схема работала устойчиво при минимальных длительностях тактовых импульсов 0,03—0,05 мкс. Амплитуда тактовых импульсов определялась типом стабилитрона и положением исходной точки на вольт-амперной характеристике стабилитрона.

В зарядной цепи схемы рис. 3 использовались указанные выше типы диодов транзисторов и микросхем. Схема работала устойчиво при минимальных длительностях тактовых импульсов 0,06—0,1 мкс и амплитудой 5—30 В. Термостабильность всех схем на кремниевых транзисторах и интегральных микросхемах одинакова. При $n=10$ схемы работали устойчиво в диапазоне температур от -20 до $+60^\circ\text{C}$ и при температуре $65-67^\circ\text{C}$ число устойчивых состояний увеличивалось на единицу. На германиевых транзисторах n увеличивалось на единицу уже при температуре $45-50^\circ\text{C}$.

Значительный выигрыш по стабильности получается, если по мере увеличения n высота ступеньки напряжения на конденсаторе будет возрастать, а не уменьшаться. При неизменном количестве элементов схем это достигается подачей на вход схемы тактовых импульсов, амплитуда которых возрастает от импульса к импульсу по линейному или экспоненциальному законам.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Кузенко, Л. С. Ситников, С. Е. Токовенко. Динамическая индикация в цифровых измерительных приборах.— Автотриетрия, 1969, № 2.
2. П. Н. Димитраки. Блокинг-генератор. Авт. свидетельство № 210219.— ИПОТЗ, 1968, № 6.
3. В. А. Ильин. Импульсные устройства с мостовыми элементами. М., «Энергия», 1965.
4. Г. П. Полядьев. Исследование погрешности нелинейности накопительных схем.— ИВУЗ, «Приборостроение», 1966, № 6.
5. Л. С. Ситников. Многоустойчивые элементы в цифровой технике. Киев, «Техніка», 1970.
6. L. O. W a r n. Designing Nonlinear Resistance — Capacitance Integrators.— Electronic Design, 1964, 12, № 18.

Поступило в редакцию
20 июля 1970 г.,
окончательный вариант —
6 июля 1971 г.