

$$A_{mn,i}/A_{mn,j} = \text{const}, A_{ij,m} = \text{const}, A_{ij,n} = \text{const}. \quad (24)$$

Из вышеизложенного следует, что если в уравнении (3) произошло отделение переменных x^i, x^j от x^m, x^n методом выделения некоторых дифференциальных операторов первого порядка, то с необходимостью метрика пространства удовлетворяет условию (17) и одному из наборов условий (23), (24). Достаточность полученных требований доказывается рассуждениями, обратными только что проведенным.

Таким образом, доказана справедливость следующей теоремы.

Теорема. Для отделения переменных x^i, x^j от x^m, x^n в КОУД методом выделения дифференциальных операторов первого порядка при диагональной калибровке тетрады необходимо и достаточно, чтобы интервал ds^2 представлялся в виде (17), а компоненты метрического тензора удовлетворяли одному из наборов условий (23) или (24).

3. Следствия теоремы (явный вид операторов).

1) Если выполнены условия (17) и (23), то в (4)

$$\begin{aligned} \widehat{K}_{ij} &= -\eta^{ii}\widetilde{\gamma}^j \left(\frac{A_{ij,m}}{A_{ij,i}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_i - \frac{\partial_i A_{ij,i}}{4A_{ij,i}} \right) + \eta^{jj}\widetilde{\gamma}^i \left(\frac{A_{ij,m}}{A_{ij,j}} \right)^{\frac{1}{2}} \times \\ &\quad \times \left(\partial_j - \frac{\partial_j A_{ij,i}}{4A_{ij,i}} \right) + m_0 \widetilde{\gamma}^i \widetilde{\gamma}^j (A_{ij,m})^{\frac{1}{2}}, \\ \widehat{K}_{mn} &= \widetilde{\gamma}^i \widetilde{\gamma}^j \widetilde{\gamma}^m \left(\frac{1}{A_{mn,m}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_m - \frac{\partial_m A_{mn,m}}{4A_{mn,m}} \right) + \\ &\quad + \widetilde{\gamma}^i \widetilde{\gamma}^j \widetilde{\gamma}^n \left(\frac{1}{A_{mn,n}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_n - \frac{\partial_n A_{mn,n}}{4A_{mn,n}} \right). \end{aligned}$$

2) При выполнении (17) и (24) в (4) имеем

$$\begin{aligned} \widehat{K}_{ij} &= \widetilde{\gamma}^m \widetilde{\gamma}^n \widetilde{\gamma}^i \left(\frac{1}{A_{ij,i}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_i - \frac{\partial_i A_{ij,i}}{4A_{ij,i}} \right) + \\ &\quad + \widetilde{\gamma}^m \widetilde{\gamma}^n \widetilde{\gamma}^j \left(\frac{1}{A_{ij,j}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_j - \frac{\partial_j A_{ij,i}}{4A_{ij,i}} \right), \\ \widehat{K}_{mn} &= -\eta^{mm}\widetilde{\gamma}^n \left(\frac{A_{mn,i}}{A_{mn,m}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_m - \frac{\partial_m A_{mn,m}}{4A_{mn,m}} \right) + \\ &\quad + \eta^{nn}\widetilde{\gamma}^m \left(\frac{A_{mn,i}}{A_{mn,n}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\partial_n - \frac{\partial_n A_{mn,n}}{4A_{mn,n}} \right) + m_0 \widetilde{\gamma}^m \widetilde{\gamma}^n (A_{mn,i})^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

Список литературы

1. Шишкин Г. В., Андрушкевич И. Е.—Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1985, № 3, с. 26.
2. Шишкин Г. В., Андрушкевич И. Е.—Тез. докл. Всесоюзн. конференц.: Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации. М., 1984, с. 137.

Поступила в редакцию 06.11.84.

УДК 621.396.963.8

Б. Н. КРАСНОГОЛОВЫЙ, И. М. ЧУШЕНКОВ, Б. Н. ШПИЛЕВОЙ

ФОРМИРОВАТЕЛЬ МАГНИТНОЙ РАЗВЕРТКИ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

С учетом дисторсии, т. е. искажений отклонения луча за счет отличающейся от сферической формы поверхности экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), и параметров отклоняющей системы (ОС) выраже-

ния для управляющих сигналов (напряжения или тока) получают до-вольно сложными [1, 2], что требует принципиально нового подхода к построению формирователей магнитных разверток повышенной точности.

Генератор напряжения развертки (ГНР) в этом случае должен вы-рабатывать заданное аналитическим выражением напряжение сложной формы, т. е. представлять собой генератор функций.

Воспроизведение заданной функции может быть осуществлено ана-логовыми (посредством, например, диодно-функциональных преобразо-вателей) или цифровыми методами. Во втором, более приемлемом слу-чае заданная функция в определенные моменты времени аппроксими-руется дискретными значениями напряжения в двоичных кодах с последующим восстановлением аналоговой формы представления. Вычисленные коды предварительно записываются в постоянное запо-минающее устройство (ПЗУ). При не очень сложной функции ее дискрет-ные значения в определенные моменты времени можно рассчитать и на программируемом микрокалькуляторе, однако процедура кодирования дискретных отсчетов с помощью калькулятора весьма трудоемка.

Шаг равномерной дискретизации по времени (шаг квантования по времени) в соответствии с теоремой отсчетов В. А. Котельникова для непрерывной функции времени с ограниченным спектром определяется как $\Delta t = 1/(2F_b)$, где F_b — верхняя частота в спектре сигнала.

Количество отсчетных точек N , приходящихся на длительность про-цесса T , будет $N = T/\Delta t + 1 = 2F_b T + 1$. При $T = t_p = 50-1000$ мкс (t_p — длительность прямого хода развертки), что соответствует даль-ностям 7,5—150 км, перекрывающим по существу весь радиолокацион-ный диапазон, и $F_b = 5/t_p = 100-5$ кГц (как для периодической после-довательности видеопульсов прямоугольной формы с приблизительно двухкратным запасом), $\Delta t = 5-100$ мкс и $N = 2 \cdot 5/t_p \cdot t_p + 1 = 11$ точек отсчета. Для повышения точности представления функции есть смысл уменьшить шаг квантования до $\Delta t = 1/(\gamma F_b)$, где $\gamma = 2,5-5$ [3].

Для удобства схемной реализации целесообразно принять $N = 15$ то-чек отсчета, что будет соответствовать $\gamma = (N-1)/5 = 14/5 = 2,8$.

Из результатов машинного расчета формы управляющего напряже-ния следует, что в большинстве случаев диапазон изменения уровней напряжения не выходит за пределы 0—25 В. Если мгновенные значения сигнала представлять с точностью до сотых долей вольта, т. е. 4-разряд-ным десятичным числом в диапазоне 0—2500 (запятую здесь можно не принимать во внимание), то для кодирования дискретных отсчетов в ука-занном диапазоне потребуется 12-разрядный двоичный код, которым можно отобразить максимальное десятичное число $2^{12} - 1 = 4095$.

С учетом сделанных предположений структурную схему формирователя развертки можно представить в виде рис. 1.

Расширитель синхронизирующих импульсов РСИ генерирует импуль-сы прямоугольной формы с длительностью, равной t_p на выбранном диа-пазоне дальности.

Назначением генератора тактовых импульсов ГТИ является выра-ботка коротких импульсов выборки, задающих шаг квантования по вре-мени и следующих с частотой $F_{ТИ} = 1/\Delta t$. Длительность тактовых импульсов должна удовлетворять условию $t_{ТИ} \ll \Delta t$ и может быть при-нята одинаковой для всех диапазонов дальности, например, порядка 1 мкс.

Счетчик тактовых импульсов СТИ служит для представления в двоич-

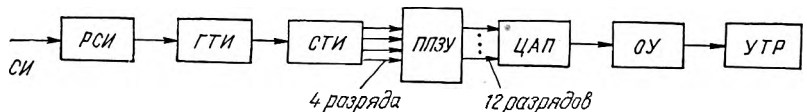


Рис. 1. Структурная схема формирователя магнитной развертки

ном коде номера тактовых импульсов (точек отсчета, или выборок) от 1 до 15, т. е. должен иметь модуль пересчета $K_{сч}=15$, что требует разрядности $m_1 = \log_2(K_{сч} + 1) = \log_2 16 = 4$.

Двоичные коды выборок поступают на адресные входы программируемого постоянного запоминающего устройства ППЗУ, в которое предварительно записывают 12-разрядные коды мгновенных значений управляющего напряжения, рассчитанных в отсчетные моменты времени, т. е. через интервалы Δt , по специальной программе на ЭВМ. Первая выборка при $t = 0$ отображает начальный перепад управляющего напряжения, последняя при $t = t_p$ — переход к обратному ходу (чаще всего это нулевой уровень). Емкость ППЗУ должна быть не меньше 15×12 разрядов = 180 бит.

В цифро-аналоговом преобразователе ЦАП происходит восстановление аналоговой формы сигнала. Возможное количество уровней аналогового сигнала (разрешающая способность ЦАП) определяется как 2^{m_2} , где m_2 — разрядность входного кода. Тогда уровень напряжения, соответствующий младшему значащему разряду входного кода, будет равен $\Delta U = U_{эт}/2^{m_2}$, где $U_{эт}$ — эталонное (опорное) напряжение в схеме ЦАП. При $U_{эт} = 10$ В и $m_2 = 12$ разрядов минимальная высота «ступеньки» напряжения составит $\Delta U = 10/4096 \approx 2,44$ мВ. Точность преобразования обычно выражается половиной ΔU и в нашем случае будет составлять 1,22 мВ, чего вполне достаточно.

Операционный усилитель ОУ предназначен для усиления сигнала на выходе ЦАП до уровня, обеспечивающего на выходе усилителя тока развертки УТР расчетное значение управляющего напряжения $U_{к.расч}$, которое нужно приложить к ОС для создания заданного отклонения луча.

Требуемый коэффициент усиления ОУ можно рассчитать по формуле

$$K_{оу} = \frac{U_{вх(утр)}}{U_{вых(цап)}} = \frac{U_{к.расч}/K_{утр}}{N_u \cdot \Delta U} \approx \frac{U_{к.расч}}{100 U_{к.расч} \cdot \Delta U} = \frac{10^{-2} \text{ В}}{\Delta U[\text{В}]},$$

где $K_{утр}$ — коэффициент передачи по напряжению УТР, равный примерно единице при включении ОС в эмиттерную цепь УТР; $N_u = 100 U_{к.расч}$ — количество отсчетов по оси напряжения (число дискретов по уровню), приходящихся на мгновенное значение напряжения. В нашем случае $K_{оу} = 10^{-2}/(2,44 \cdot 10^{-3}) = 4,1$. Быстродействие ОУ можно принять равным 10—20 В/мкс, что обеспечит нарастание перепада выходного напряжения порядка 20 В за время 1—2 мкс, т. е. практически неискаженную передачу формы кривой напряжения даже на самых быстрых развертках с $t_p \approx 50$ мкс.

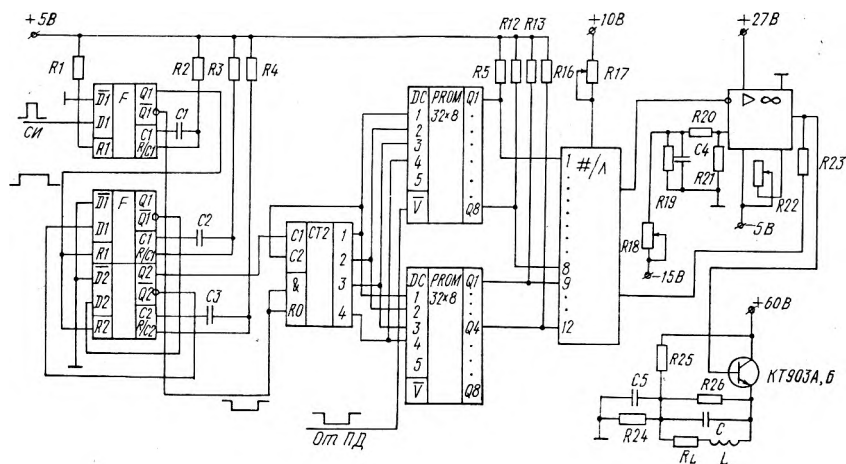


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема формирователя магнитной развертки

Сглаживание «ступенек» в выходном сигнале ЦАП можно осуществить в самом ОУ (ограничением верхней частоты полосы пропускания) или специальным фильтром нижних частот между ОУ и УТР.

Принципиальная электрическая схема формирователя электромагнитной развертки дальности для отклонения луча на радиус экрана ЭЛТ 45ЛМ1В (например, при радиально-круговой развертке) показана на рис. 2.

РСИ выполнен на одновибраторе с повторным запуском $1/2$ К155АГ3. Длительность расширенного импульса задается элементами С1 и R2 [4].

ГТИ построен на двояном одновибраторе (один корпус интегральной микросхемы К155АГ3). Хролирующими элементами С2, R3 и С3, R4 определяются длительности тактового импульса и паузы соответственно.

В качестве СТИ использован 4-разрядный двоичный счетчик К155ИЕ5. Счетные тактовые импульсы подаются на вход С1, а расширенный импульс отрицательной полярности (уровень логического нуля, разрешающий счет) — на входы И и RО.

Выходной 4-разрядный двоичный код СТИ поступает на адресные входы ППЗУ (PROM) — два корпуса микросхемы К155РЕ3 с емкостью 32 слова \times 8 разрядов = 256 бит. Адресные входы соединяются параллельно, а для представления 12-разрядного кода включаются все восемь выходов (разрядов) первой микросхемы и четыре разряда второй. Введение предварительной информации в ППЗУ (программирование ПЗУ) осуществляется различными способами, из которых наибольшее распространение получил принцип «плавкого предохранителя», когда для получения необходимой кодовой комбинации дозированным током выжигаются, например, нихромовые связи между матричными элементами микросхемы [5, 6]. В процессе выжигания переключки на адресные входы последовательно подаются коды адреса (номера выборки), а на выходы — импульсы пережигания в соответствии с заданной таблицей кодов.

В качестве ЦАП использован 12-разрядный преобразователь К594ПА1, наиболее полно отвечающий сформулированным требованиям и хорошо согласующийся по входу с микросхемами типа ТТЛ. Отдельные экземпляры микросхем К594ПА1 обладают быстродействием порядка 2 мкс, которое можно считать приемлемым. Эталонное напряжение $+10$ В \pm $\pm 0,01$ % подводится к микросхеме через переменный резистор R17.

Выбор типа ОУ производится в основном по заданным быстродействию и величине выходного напряжения. Можно остановиться на микросхеме 140УД8В с быстродействием 10 В/мкс и выходным напряжением до 25 В при несимметричном питании. Спротивлением R23 в цепи обратной связи устанавливается требуемый коэффициент усиления ОУ. Остальные элементы схемы служат для балансировки нуля по выходу и задания отрицательного смещения на неинвертирующем входе ОУ.

Выходное напряжение ОУ в положительной полярности подается на базу нормально запертого транзистора КТ903 выходного каскада (УТР) и с небольшим ослаблением передается в эмиттерную цепь, вызывая протекание линейного отклоняющего тока через индуктивность L отклоняющей системы.

Для нескольких диапазонов дальности, что обычно имеет место в индикаторах с радиально-круговой разверткой, в схему формирования магнитной развертки нужно внести некоторые изменения.

РСИ должен формировать широкие импульсы с несколькими значениями их длительностей (по числу диапазонов дальности), что достигается переключением хролирующих емкостей (С1 на рис. 2). Соответственно ГТИ должен генерировать тактовые импульсы с различными частотами повторения для получения на каждом диапазоне 15 выборок, что можно легко осуществить изменением емкости С3, влияющей на длительность паузы. СТИ — общий для всех диапазонов дальности, поскольку количество выборок неизменно, а ППЗУ должны быть отдельными, так как форма кривой напряжения на разных диапазонах различна. Каждая пара ППЗУ подсоединяется к входам ЦАП через схему

«монтажное ИЛИ», образуемую за счет открытых коллекторов на выходах ППЗУ. Выбор нужной пары ППЗУ осуществляется подачей на их V -входы импульсов разрешения выборки от переключателя диапазонов (ПД).

Остальные устройства (ЦАП, ОУ и УТР)— общие для всех шкал дальности.

Относительная нестабильность частоты следования тактовых импульсов в данной схеме составляет примерно 10^{-2} . При более строгих требованиях к этому параметру в качестве ГТИ нужно использовать генератор импульсов на микросхемах с кварцевой стабилизацией, обеспечивающий нестабильность частоты 10^{-4} — 10^{-5} (без термостатирования и принятия других мер термостабилизации), в сочетании с делителями частоты.

При увеличении количества импульсов выборки, например, до 25—30 (в целях повышения точности формирования кривой напряжения развертки), требования к отдельным элементам формирователя, естественно, должны быть пересмотрены. Прежде всего потребуются наращивание разрядности СТИ (до пяти разрядов при $N = 25$ —30), что достигается последовательным подключением к 4-разрядному счетчику К155ИЕ5 еще одного JK -триггера или одного разряда такого же счетчика. ППЗУ на микросхеме К155РЕ3 (32 слова на 8 разрядов) остается без изменений. Что же касается ЦАП, то в последние годы разработаны достаточно быстродействующие 12-разрядные интегральные ЦАП с временем установления меньше 0,5 мкс, управляемые от ТТЛ-схем и рассчитанные на подключение ОУ типа 154УД3 с быстродействием 100 В/мкс и временем установления 0,2 мкс.

Рассмотренные принципы могут быть положены в основу построения формирователей электромагнитной развертки и специальной формы, когда закон перемещения луча по экрану ЭЛТ отличается от линейного.

Список литературы

1. Красноголовый Б. Н.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1982, № 3, с. 12.
2. Красноголовый Б. Н.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1983, № 1, с. 18.
3. Пенни П. И., Филиппов Л. И. Радиотехнические системы передачи информации.— М., 1984.
4. Горовой В. В., Духновский Л. Я., Прибыльский А. В.— Электронная промышленность, 1980, № 1, с. 41.
5. Полупроводниковые запоминающие устройства / Под ред. А. Ю. Гордонова.— М., 1981.
6. Лябин И. В. и др.— Электронная промышленность, 1975, вып. 4 (40), с. 65.

Поступила в редакцию 30.11.84.

УДК 621.315.292

П. Ф. ЛУГАКОВ, В. В. ЛУКЬЯНИЦА

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ДЕФЕКТНЫХ СКОПЛЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В КРЕМНИИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТКАХ

Кристаллы кремния в ряде случаев содержат примесные или примесно-дефектные скопления, формирующиеся при выращивании материала или в результате высокотемпературных обработок, которыми обычно сопровождается трансмутационное, ионное легирование и т. д. В предлагаемой работе выполнены сравнительные эксперименты по изучению свойств скоплений, образованных в кремнии при термообработке облученных эквивалентными по числу смещенных атомов потоками медленных (трансмутационное легирование) или быстрых нейтронов. Заключение о свойствах скоплений сделаны на основе анализа их влияния на процессы накопления при облучении гамма-квантами Co^{60} и отжиге