

Н. А. Филинюк, д. т. н., проф.; М. В. Барабан

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ОДНОПЕРЕХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

Проведен анализ современных достижений создания информационных устройств на основе однопереходных транзисторных структур, определены их преимущества и недостатки. Выработаны рекомендации по улучшению информационных устройств.

Ключевые слова: *информационные устройства, однопереходная транзисторная структура, однопереходный транзистор.*

Однопереходная транзисторная структура (ОТС) является многофункциональным электронным устройством, использование которого позволяет улучшить технические параметры элементов и устройств вычислительной техники и автоматики, повысить их эффективность и создать качественно новые элементы на ее основе. Поскольку однопереходный транзистор (ОТ) обладает вольт-амперной характеристикой S-типа, то у него есть уникальные свойства, что позволяет создавать на его основе устройства более простые, надежные и эффективные, чем аналогичные устройства на диодах и транзисторах. Выпуск широкой номенклатуры ОТ фирмами: General Electric, Philips, ASI, Motorola [1 – 4] – подтверждает их конкурентоспособность наряду с другими полупроводниковыми приборами. Однако на сегодняшний день отсутствует сравнительный анализ создания современных информационных устройств на их основе. Данный анализ открывает новые возможности создания высокоэффективных информационных элементов и устройств, пригодных для реализации в интегральном виде, что обеспечивает их широкое применение.

Исходя из этого, актуальной является задача по проведению анализа современных достижений создания информационных устройства на основе ОТС.

Целью работы является выработка рекомендаций по улучшению характеристик информационных устройств на основе ОТС.

1.1. Классификация информационных устройств

В состав информационной системы входят информационные устройства как базовые узлы для преобразования и обработки информации. Различают два типа информационных устройств – устройства преобразования информации и устройства управления. Информационные устройства, алгоритм функционирования которых не зависит от алгоритма функционирования информационной системы, предназначенные для преобразования сообщений в сигнал и наоборот, а также для изменения физической природы или параметров сигнала, называют информационными устройствами преобразования. К ним относятся: измерительные преобразователи, преобразователи иммитанса, устройства кодирования и декодирования, логические устройства и др. Информационные устройства, алгоритм функционирования которых меняется со временем по закону, который определяется алгоритмом функционирования информационной системы, называют информационными устройствами управления. Примеры таких устройств – фильтры, коммутаторы, фазовращатели и т. п. [5]

Учитывая, что в большинстве информационных систем основным носителем информации является электрический сигнал, в статье рассмотрены информационные устройства преобразования и управления электрическими сигналами. Обобщенная функциональная схема устройства приведена на рис. 1 [5]. Устройство содержит три вида

выводов: входного сигнала, выходного сигнала и сигнала управления. У информационных устройств преобразования отсутствуют выводы сигнала управления, но может быть вывод опорного сигнала.

Кроме информационных сигналов, в информационное устройство попадает сигнал помехи. Он может попадать как по цепям основного сигнала и сигнала управления, так и по цепям питания, или возникать в самом информационном устройстве [5].

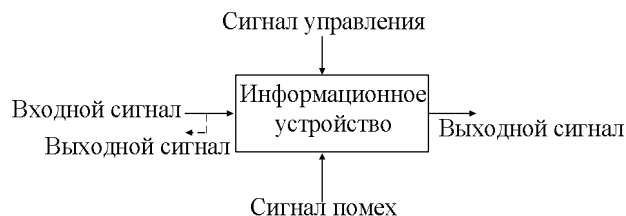


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема информационного устройства

Классификация информационных устройств представлена на рис. 2.

Информационные устройства по типу электрического сигнала классифицируют на видеоимпульсные и радиочастотные. Информационным базисом радиочастотных информационных устройств является амплитуда, частота или фаза сигнала. По реакции на входной сигнал радиочастотные информационные устройства классифицируют на усилительные, преобразовательные и пассивные. Усилительные увеличивают мощность входного сигнала за счет энергии, поступающей от источника питания. По функциональному назначению различают измерительно-преобразовательные, усилительно-преобразовательные и вспомогательные элементы, к которым можно отнести логические схемы, устройства хранения и преобразования информации. По способу питания радиочастотные информационные устройства делятся на активные, пассивные и полупассивные. Активные, в отличие от пассивных, содержат собственный источник питания.



Рис. 2. Классификация радиочастотных информационных устройств

Радиочастотные информационные устройства по конструкционному исполнению классифицируют на активные и пассивные. Активные построены на активных устройствах, а именно, на транзисторах (биполярных, полевых, однопереходных и др.), а пассивные – на L-, C-элементах. Все виды радиочастотных информационных устройств можно классифицировать по частотному диапазону, приведенному на схеме. Существует

классификация радиочастотных информационных устройств по физическому принципу действия. Выделяют полупроводниковые, электрические, оптоэлектронные, акустические и др. [6].

1.2. Ключевые схемы на основе однопереходного транзистора

Однопереходной транзистор на ВАХ имеет участок отрицательного сопротивления, поэтому может быть использован для построения переключателя. Переключатель на однопереходном транзисторе представлен на рис. 3 [7].

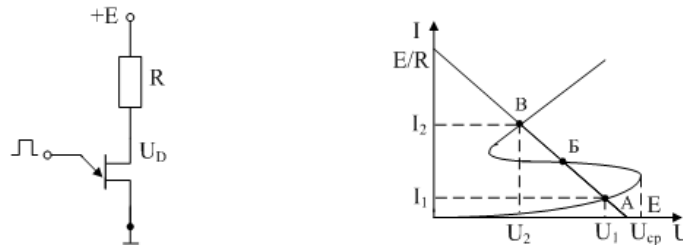


Рис. 3. Переключатель на однопереходном транзисторе

Напряжение источника питания распределено между резистором и однопереходным транзистором. Значение тока в цепи и падение напряжения на транзисторе и сопротивлении определяется в точках пересечения вольт-амперной характеристикой нагрузочной прямой. Если дифференциальное сопротивление на участке отрицательного сопротивления $|R_D| > R$, то при соответствующей величине E будет три точки пересечения ВАХ однопереходного транзистора с нагрузочной прямой. После включения источника питания устанавливается рабочая точка А, в цепи протекает малый ток. Если подать на однопереходный транзистор положительный импульс, величина которого составляет $U_i > U_{cp} - U_1$, то напряжение на транзисторе будет больше U_{cp} – и транзистор включится. Происходит нарастание тока, рабочая точка скачкообразно переходит в точку В. В цепи устанавливается ток $I_2 > I_1$. Переключение тока в обратную сторону от I_2 до I_1 происходит с помощью подачи отрицательного импульса на транзистор. Работа в точке Б является неустойчивой. Появление любой флуктуации в этой точке будет приводить к дальнейшему росту этой флуктуации. Если флуктуация положительная, то рабочая точка перемещается из точки Б в точку В, а если отрицательная, то из точки Б в точку А. Таким образом, при переключении система переходит из одного устойчивого состояния в другое [7].

Ключевые схемы ОТ находят применение в системах освещения [8, 9], в устройствах для зарядки аккумуляторов [10], тиристорных регуляторов напряжения генератора [11], в системах контроля скважинного устройства и др. [12]. Преимуществом ключевых схем на основе ОТ является их способность работать при малых токах.

1.3. Датчики на основе ОТ

Схемы, выполненные на однопереходных транзисторах, обычно проще и надежнее, чем схемы на полевых и биполярных транзисторах. Эти преимущества делают их перспективными для разработки датчиков физических величин. На основе однопереходных транзисторов, чувствительных к величине магнитного поля (однопереходных магнитотранзисторах), созданы сенсоры с выходным сигналом, частота которого зависит от величины магнитного поля [13 – 16].

В работах [17 – 19] предложены преобразователи давления с частотным выходом на основе однопереходных тензотранзисторов, представляющие практическую ценность с точки зрения высокой чувствительности, возможности работы в условиях повышенного уровня электромагнитных помех, относительно низкой стоимости, возможности соединения

с цифровыми системами и повышенной помехозащищенностью вследствие слабой чувствительности частотно-модулированного сигнала к помехам. Значение относительной чувствительности однопереходного тензотранзистора составляет: $S_{Rp}=4*10^{-10}$, $S_{Rv}\geq 10^{-10}$ (Па^{-1}), при этом относительная чувствительность однопереходного тензотранзистора определяется по отношению к напряжению включения S_{Rp} и выключения S_{Rv} по формуле:

$$S_{Rp(Rv)} = \frac{1}{U_{p(v)}} \left| \frac{\partial U_{p(v)}}{\partial \sigma} \right|_{\sigma \rightarrow 0}, \quad (1)$$

где σ – механическое напряжение в базовой области тензотранзистора.

Крутизна преобразования однопереходного тензотранзистора с управляемым p - n -переходом определяется, как:

$$S_f = \frac{1}{f} \left| \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right|_{\sigma \rightarrow 0}, \quad (2)$$

и записывается в виде: $S_f = S_{f\beta} + S_{fv} + S_{fp}$, где $S_{f\beta}$ – крутизна преобразования, обусловленная деформацией переменного коэффициента переноса.

Значение крутизны преобразования однопереходного тензотранзистора с управляющим p - n -переходом составляет: $S_{Rp}=4*10^{-10}$, $S_{Rv}\geq 10^{-10}$, $S_{f\beta}=1,5*10^{-8}$ (Па^{-1}).

В работе [20] исследованы характеристики преобразователей света с частотным выходом на основе однопереходного транзистора. Разработанная схема улучшает линейность зависимости частоты выходного сигнала от светового потока, а также увеличивает светочувствительность (около 10 кГц / мВт) и расширяет спектральный диапазон оптических сигналов. Зависимость частоты от светового потока приведена на рис. 5 б.

Генератор на основе однопереходных фототранзисторов используется в качестве датчика-фотоприемника с частотным выходом. Полупроводниковый кристалл проводимости n -типа содержит два омических базовых контакта n +-типа проводимости, а также инжектирующий эмиттерный p - n -переход (область p +-типа) с электрическими выводами. Чувствительность по частоте данного сенсора составляет 7 кГц / мкВт [21, 22].

Разработан датчик температуры на основе однопереходного и полевого транзисторов, схема которого представлена на рис. 4 а. В этой схеме все три транзистора являются термочувствительными. Частота генерации данного датчика линейно возрастает с увеличением температуры. Термочувствительность составляет 300 Гц/град. Датчик температуры обладает линейной зависимостью выходного сигнала от температуры. Работоспособность данного датчика сохраняется при действии радиации: транзисторы облучались потоком электронов с энергией 5 МэВ, γ -квантами с энергией 1 МэВ и потоком нейтронов с энергией 1,1 МэВ (рис. 4 б) [23].

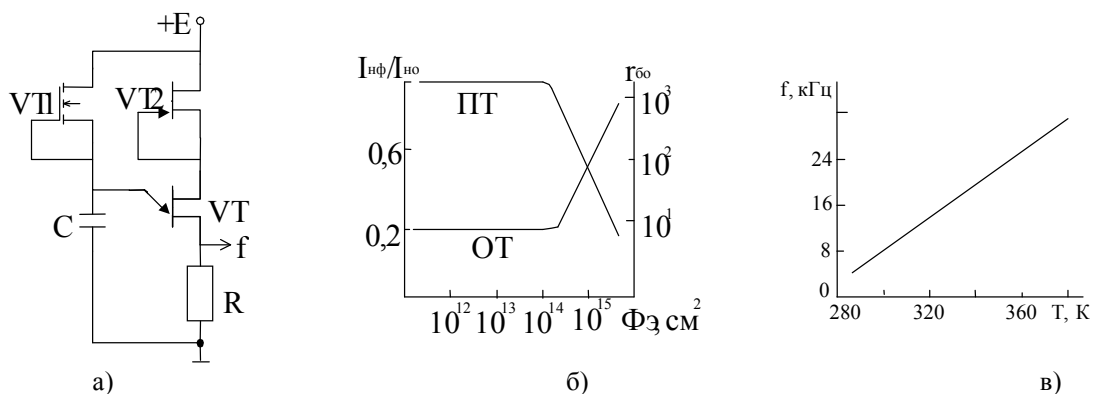


Рис. 4. Датчик температуры на основе однопереходного и полевых транзисторов (а), зависимости влияния потока электронов полевого транзистора ПТ и межбазовое сопротивление ОТ (б), зависимость частоты генерации от температуры (в)

Магниточувствительный датчик [24] с улучшенной чувствительностью (рис. 5) состоит из однопереходного транзистора на основе n -проводника с двумя омическими базовыми контактами и p -эмиттером, а также биполярного магнитотранзистора на базе n -проводника с p -эмиттером и p -коллектором. База однопереходного транзистора через резистор подключена к источнику питания, конденсатор в цепи эмиттера однопереходного транзистора подключен к тому же полюсу источника питания через биполярный магнитотранзистор. Выходной сигнал сенсора снимается с конденсатора в виде пилообразных импульсов с частотой f .

Устройство для регистрации тепловых свойств кожи [25] состоит из датчика температуры, выполненного на основе однопереходного транзистора, расположенного в геометрическом центре контактной стороны подложки, выполненной из диэлектрического материала. На подложку надето кольцо прямоугольного сечения с диэлектрического термостойкого материала, с системой канавок на наружной поверхности, на которые намотан нагревательный элемент. Преимуществом данного устройства является расширение функциональных возможностей, повышение достоверности измерения и уменьшения погрешностей измерения.

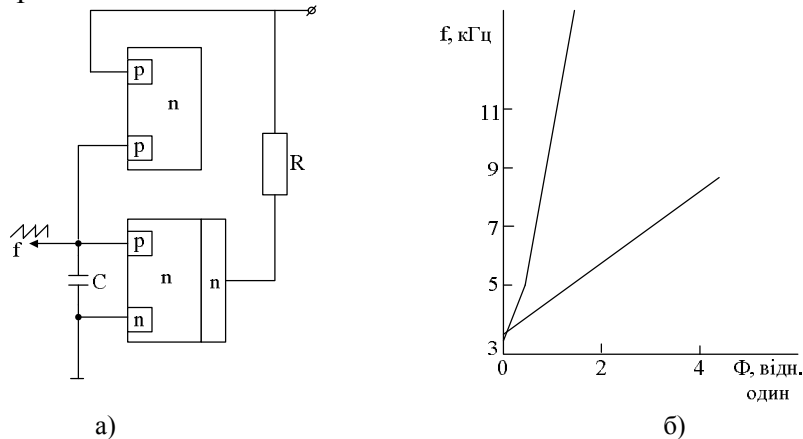


Рис. 5. Магниточувствительный датчик (а), зависимость частоты от светового потока преобразователя света с частотным выходом на основе ОТ (б)

Однопереходной тензотранзистор [26, 27] используется в качестве тензочувствительного датчика и имеет улучшенную чувствительность за счет его применения вместе с эмиттером контакта в базу в виде перехода металл-проводник. Тензочувствительность контакта металл-полупроводник во много раз выше, чем чувствительность тензорезистора, в роли которого обычно выступает база однопереходного тензотранзистора. При значении давления 20 МПа чувствительность преобразователя составляет 0,03 кГц / МПа. Экономический эффект от использования данного однопереходного тензотранзистора заключается в том, что в устройствах для измерения слабых давлений с его использованием необходимо меньшее количество усилительных элементов, а следовательно, уменьшается стоимость устройства.

1.4. Генераторы на основе ОТ

Благодаря высокой надежности, стабильности частоты и малом уровне помех, ОТ используют для построения генераторов. Классификация генераторов на основе ОТ приведена на рис. 6.

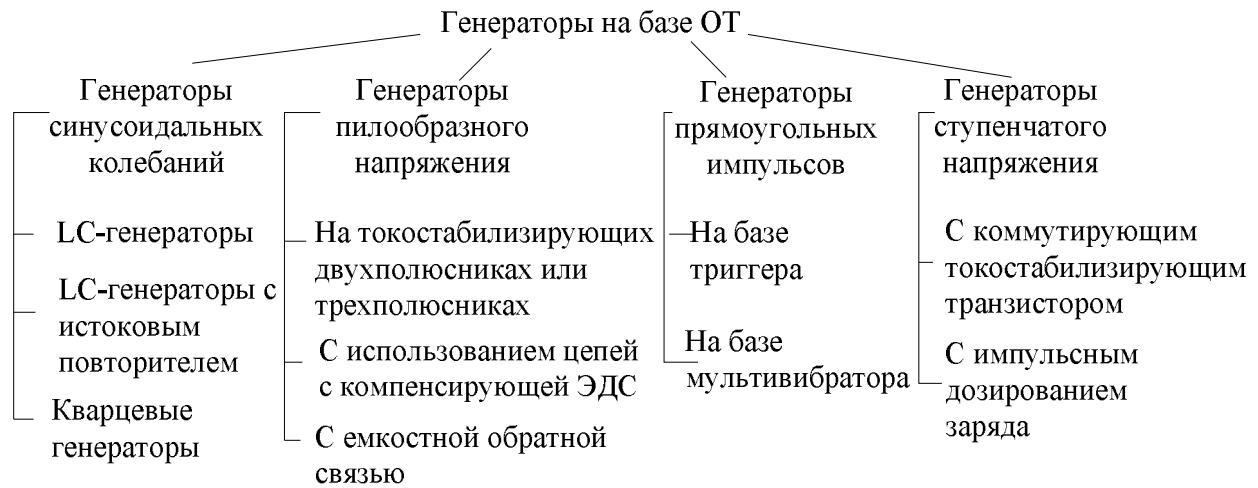


Рис. 6. Классификация генераторов на однопереходном транзисторе

LC-генератор на основе ОТ характеризуется простотой и отсутствием цепи положительной обратной связи, что является их преимуществом по сравнению с аналогами, однако схемы работают в довольно ограниченном диапазоне частот – до 200 – 300 кГц. Это связано с тем, что частотные свойства ОТ ограничены и не превышают сотни кГц. Высокое по модулю отрицательное сопротивление входа ОТ согласовывается только с высоким сопротивлением потерь в низкочастотных контурах, сильная нелинейность S-образной ВАХ является препятствием получения синусоидальных колебаний с низким числом гармоник.

Однако схему на ОТ можно использовать для получения почти синусоидальных колебаний в контурах без элементов внешней обратной связи, например, на основе единичной катушки индуктивности. Такие схемы существуют и в обычных транзисторах, но они достаточно сложны и ненадежно работают на низких частотах там, где применяют ОТ. Низкочастотные схемы применяют при контроле катушек индуктивности, дросселей и трансформаторов с магнитным сердечником в процессе их производства [28].

Еще одним недостатком данных схем является низкая нагрузочная способность. Подключение к сети нагрузки резко снижает добротность резонансного контура [28].

LC-генераторы с истоковым повторителем [28] обладают повышенной нагрузочной способностью, что обусловлено подключением выхода через конденсатор к истоковому повторителю, который имеет высокое входное сопротивление и практически не нагружает контур (рис. 7 а). Недостатком данных схем является увеличение энергопотребления в связи с введением полевого транзистора.

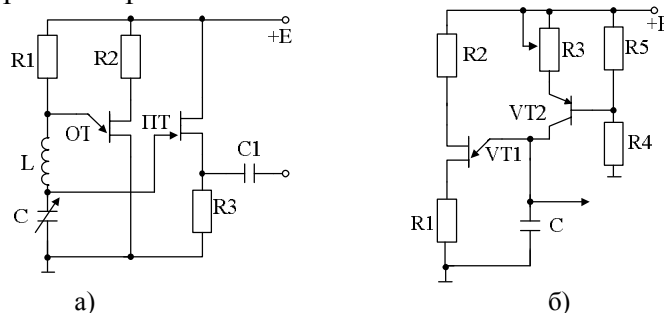


Рис. 7. LC-генератор с истоковым повторителем (а), автоколебательный генератор пилообразного напряжения с токостабилизирующим транзистором (б)

Однопереходные транзисторы используют для построения генераторов пилообразного напряжения, которые применяют в измерительной технике. Для построения таких генераторов используют три метода: применение токостабилизирующих двухполюсников или трехполюсников, применение цепей с компенсирующей ЭДС, включение конденсатора

в цепь отрицательной обратной связи усилителя постоянного напряжения.

Для построения пилообразных генераторов в качестве токостабилизирующего трехполосника используется биполярный транзистор с общим эмиттером. Схема включения биполярного транзистора с общей базой не используется, так как требует дополнительного источника питания в цепи эмиттера. Недостатком схемы, изображенной на рис. 7 б, является зависимость амплитуды импульсов от напряжения питания. От этого недостатка можно избавиться путем введения дополнительного диода (между базой биполярного транзистора и пятым резистором R5), который компенсирует напряжение токостабилизирующего транзистора. Это усовершенствование ослабляет зависимость частоты колебания данной схемы от изменения напряжения питания и температуры [28].

В работе [28] представлена схема автоколебательного генератора пилообразных импульсов с разрядным однопереходным транзистором КТ117. Стабилизатор тока выполнен на биполярном транзисторе. Кремниевый стабилитрон в схеме стабилизирует напряжение питания цепи эмиттера, что делает схему стабилизатора тока сходной со схемой с общей базой. Недостатком данного генератора является значительное время обратного хода.

Применение мер по улучшению нагрузочной способности генераторов пилообразного напряжения с токостабилизирующим двухполосником ведет к значительному усложнению схем.

Одна из лучших схем генераторов с компенсирующей ЭДС представлена на рис. 8 а. В ней ЭДС подается в точку А через кремниевый стабилитрон. Напряжение на стабилитроне практически не меняется, и поэтому ухудшения линейности не происходит. Недостатком этой схемы является уменьшение коэффициента использования напряжения питания и необходимость его увеличения [28].

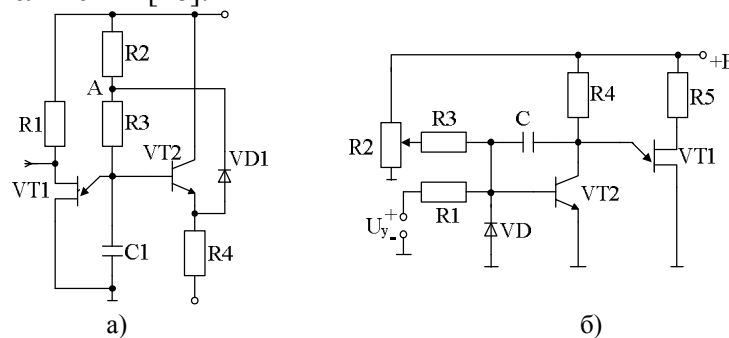


Рис. 8. Улучшенный вариант схемы генератора пилообразного напряжения с компенсирующей ЭДС (а), генератор пилообразного напряжения на однопереходном транзисторе с емкостной обратной связью (б)

В работе [28] приведена схема генератора пилообразного напряжения на однопереходном транзисторе с емкостной обратной связью (рис. 8 б). Схемы этого класса имеют ряд преимуществ. От них можно получить нелинейность порядка 1% и менее. При этом схемы имеют довольно высокую нагрузочную способность.

В работе [29] представлены несколько видов генераторов на однопереходном транзисторе. Рассмотрены способы улучшения линеаризации путем введения источника повышенного напряжения или с помощью обратной связи (с использованием конденсатора или стабилитрона). Применение дополнительного источника позволяет увеличить номинал резистора, который задаёт ток, что эквивалентно заряду от генератора тока. Недостаток данного метода – необходимость использования дополнительного источника.

Повышение надежности запуска генератора и повышение устойчивости к действию импульсных помех решается в работе [30] путем введения однопереходного транзистора, эмиттер которого соединен с R- или S-входом триггера, первая база – с нулевой шиной, а вторая база – с прямым (или инверсным) выходом триггера. RS-триггер выполнен на КМОМ-транзисторах.

Недостатком импульсных генераторов на основе триггера и мультивибратора является

усложнение схем и увеличение энергопотребления.

Применение генераторов ступенчатого напряжения в качестве делителей частоты позволяет получить деление при изменении частоты в несколько раз больше, а в некоторых случаях даже десятки раз больше. В свою очередь, делители частоты на основе триггерных ячеек способны делить частоту от нуля до некоторой предельной величины и стоят намного больше, чем схемы на ОТ [28].

Большое распространение получила схема релаксационного генератора на основе ОТ [31 – 33], который характеризуется стабильностью частоты, так как U_o и U_{cp} однопереходного транзистора более стабильны к изменению температуры, чем аналогичные параметры других приборов с характеристикой S-типа. Релаксационные генераторы на однопереходном транзисторе используют как генераторы пилообразного напряжения, мультивибраторы, реле времени.

1.5. Обобщенные преобразователи иммитанса

ОТ могут быть представлены в виде четырехполюсников, что позволяет создавать на их основе обобщенные преобразователи иммитанса. Детальная классификация преобразователей иммитанса и их определения приведены в работе [34].

Обобщенные преобразователи иммитанса на основе инжекционно-пролетной транзисторной структуры с общим истоком рассмотрены в работе [35]. Авторы проанализировали свойства инжекционно-пролетной транзисторной структуры с общим истоком в качестве обобщенного преобразователя иммитанса и получили таблицы преобразования иммитанса. Инжекционно-пролетный транзистор обладает свойствами обобщенного преобразователя иммитанса в режиме как прямого, так и обратного смещения эмиттерного перехода. Изменение знака потенциала эмиттерного перехода приводит к изменению качественных и количественных характеристик такого преобразователя иммитанса, что, в свою очередь, приводит к изменению свойств с конвертора иммитанса на инвертор иммитанса.

В работе [36] исследован обобщенный преобразователь иммитанса на базе однопереходного транзистора от параметров его физической эквивалентной схемы. В качестве обобщенного преобразователя иммитанса использован ОТ с общей первой базой. Проведенные исследования подтвердили возможность управления величиной импеданса ОТ при прямом и обратном преобразованиях импеданса путем изменения номиналов его эквивалентной схемы.

Конвертор иммитанса на ОТ с общей первой базой представлен в работе [37]. Исследована зависимость "качества" конвертора иммитанса на ОТ от его физических параметров. Увеличение параметра сопротивления второй базы приводит к увеличению качества конвертора на основе ОТ.

Выводы

Проведенный анализ показал, что ОТ характеризуются простотой, надежностью, низким уровнем помех, широким диапазоном рабочих температур (от -60°C до $+125^{\circ}\text{C}$), высокой стабильностью частоты и низкой стоимостью, что позволяет использовать их для построения информационных устройств с улучшенными параметрами. При этом основным недостатком является низкое значение предельной частоты. Преодолеть этот недостаток можно путем использования однопереходных транзисторных структур, работающих на высоких частотах и имеющих низкоомную область базы.

Однако на сегодняшний день отсутствуют систематические исследования свойств ОТС при различных схемах включения, когда реализованные четырехполюсники могут быть потенциально неустойчивыми. А эти свойства открывают новые возможности реализации высокоэффективных информационных элементов и устройств, пригодных для реализации в

інтегральному вигляді, що забезпечує їх широке застосування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Silicon unijunction transistor 2N2646. Philips Semiconductors. Preliminary specification. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/2N2646.pdf>.
2. 2N2647 Silicon PN unijunction transistor. ASI. Advanced semiconductor. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://grupos.unican.es/dyvc/rui/zrg/postscript/Componentes/2N2647.pdf>.
3. 2N2647. Motorola Semiconductor Datasheet Library. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.datasheetarchive.com/2N2647-datasheet.html>.
4. 2N6027, 2N6028. Programmable unijunction transistor. Semiconductors components industries. [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.solarbotics.net/library/datasheets/2N602X.pdf.
5. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі: монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с.
6. Васюра А. С. Елементи та пристрої систем управління автоматики / В. С. Васюра. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 420 с.
7. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
8. Патент Российской Федерации 2031554, МПК⁶ H 05 B 39/02. Осветительное устройство / Филиппов А. Н., Машков А. С., Пушкин Н. М.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт измерительной техники. – № 5054391/07; заявл. 14.07.92; опубл. 20.03.95.
9. Патент 51719 України, МПК⁶ G 05 F 1/44. Пристрій для регулювання світлового режиму в пташниках / Берека О. М., Жулай Е. Л.; заявник та патентовласник Національний аграрний університет. – № 99021126; заявл. 26.02.1999; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12.
10. Патент Российской Федерации 15432, МПК⁷ H 02 J 7/10. Устройство для заряда аккумуляторной батареи / Лившин Г. Д., Ременик Д. М., Дмитриев В. П., Меркулов А. С.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "КОСМОС-ЭНВО". – № 2000109049/20; заявл. 12.04.2000; опубл. 10.10.2000.
11. Патент Российской Федерации 1306435, МПК⁶ H 02 P 9/30. Тиристорный регулятор напряжения генератора переменного тока / Нечаев А. В., Рыбов А. Д. – № 3828578/07; заявл. 20.12.84; опубл. 10.09.99.
12. Патент 60442 А України, МПК⁶ E 21 B 43/25, E 21 B 47/12. Заглибний свердловинний пристрій / Курашко Ю. І, Кліманський М. М., Лазун А. Ф. заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України. – № 2002075822; Заявл. 15.07.02; Опубл. 15.10.03, Бюл. №10.
13. Осадчук В. С. Сенсори тиску і магнітного поля. Монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
14. Викулина Л. Ф. Физика сенсоров температуры и магнитного поля / Л. Ф. Викулина, М. А. Глауберман. – Одесса: Маяк, 2000. – 156 с.
15. Гуменюк С. В. Интегральные полупроводниковые магнито чувствительные датчики / С. В. Гуменюк, Б. И. Подлепечкий // Зарубежная электронная техника. – 1989. – № 12(343). – С. 3 – 47.
16. Горти З. Ю. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля. За редакцією З. Ю. Горти. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001. – 412 с.
17. Преобразователи давления с частотным выходом на основе однопереходных транзисторов / Г. Г. Бабичев, Г. И. Гаврилюк, Э. А. Зинченко [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 3. – С. 48 – 51.
18. Кремниевый однопереходный тензотранзистор / Бабичев Г. Г., Козловский С. И., Романов В. А., Шаран Н. Н. [и др.] – Журнал технической физики. – 2002. – № 4. – С. 66 – 71.
19. Converter of pressure with frequency output on the base of unijunction tenso-transistors / Babichev G. G., Gavrylyuk G. P. [etc.] – Technology and design in electronic devices. – 2004. – № 3. – Р. 48 – 51.
20. Викулин И. М. Фотоприемник на основе однопереходного и полевого транзисторов / И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, В. А. Мингалев // Sensors Electronics and Microsystems Technologies. – 2006. – № 4. – Р. 28 – 30.
21. Фотоприемник на основе однопереходного транзистора и фотодиода / Викулин И. М., Курмашев Ш. Д., Никифоров С. Н., Панфилов М. И. [и др.] Фотозлектроника. О.: Астропринт, 2008. – № 17. – С. 88 – 90.
22. Патент 20016 України, МПК⁶ H 01 L 31/10. Одноперехідний фототранзистор / Вікулін І. М., Курмашев Ш. Д., Никифоров С. М., Панфілов М. І.; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. – № u200606237; заявл. 05.06.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.
23. Датчики температуры на основе однопереходного и полевого транзисторов при радиационном воздействии / И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, П. Ю. Марколенко [и др.] // Sensors Electronics and Microsystems Technologies. – 2009. – № 2. – р. 18 – 21.
24. Патент 49256 України, МПК⁶ H 01 L 29/82. Магніточутливий сенсор / Вікулін І. М., Вікуліна Л. Ф., Наукові праці ВНТУ, 2012, № 2

Курмашев Ш. Д. ; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.– № u200910777; заявл. 26.10.09; опубл. 26.04.10, Бюл. № 8.

25. Патент 30179 А України, МПК⁶ G 01 K 13/00, A61B 5/02. Пристрій для реєстрації теплових властивостей шкіри / Логінов В. В., Русяєв В. Ф. ; заявник та патентовласник Кримський медичний університет ім. С. І. Георгієвського. – № 98010211; заявл. 15.01.1998; опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6.

26. Патент 19977 України, МПК Н 01 L 29/00. Одноперехідний тензотранзистор / Вікулін І. М., Курмашев Ш. Д., Мінгальов В. О., Никифоров С. М. ; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.– № u200605556; заявл. 22.05.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.

27. Патент 53618 України, МПК⁶ Н 01 L 9/04. Одноперехідний тензотранзистор / Курмашев Ш. Д., Вікулін І. М., Сидорець Р. Г. ; заявник та патентовласник Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова.– № u201004826; заявл. 22.04.10; опубл. 11.10.10, Бюл. № 19.

28. Дьяконов В. П. Однопереходные транзисторы и их аналоги / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 240 с.

29. Петров А. Азбука транзисторной схемотехники / А. Петров // Радиолюбитель. – 1994. – № 12. – С. 12 – 14.

30. Патент Российской Федерации 2087069, МПК6 Н 03 К 3/351. Генератор импульсов / Иванов С. М., Сонин А. Ф., Тимофеев В. М. ; заявитель и патентообладатель Московский институт теплотехники.– № 3828578/07; Заявл. 12.04.94; Опубл. 10.08.97.

31. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 162 с.

32. Salivahanan S. Electronic Devices and Circuits / S. Salivahanan, N. Suresh Kumar, A. Vallavaraj. – Tata McGraw-Hill, 2008. – 951 p.

33. Mothiki S. Pulse and digital circuits / S. Mothiki, R. Prakash. – Tata McGraw-Hill, 2006. – 671 p.

34. Філінюк М. А. Основи негatronіки. Прикладні аспекти / М. А. Філінюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 306 с.

35. Узагальнені перетворювачі іммітансу на основі інжекційно-пролітної транзисторної структури із загальним витоком [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Булига І. В., Шведюк А. Г., Філінюк Н. А. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 2. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.files/uk/08lblsts_uk.pdf.

36. Дослідження узагальнених перетворювачів іммітансу на базі одноперехідного транзистора від параметрів його фізичної еквівалентної схеми [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Барабан М. В., Рожкова Я. С. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – № 2. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-2/2010-2.files/uk/10lblrsc_ua.pdf

37. Дослідження “якості” одно кристалних конверторів іммітансу [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Рожкова Я. С., Філінюк М. А. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – № 3. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010_3/2010-3.files/uk/10llboic_ua.pdf.

Філінюк Николай Антонович – д. т. н., проф., заведуючий кафедрой проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры.

Барабан Мария Владимировна – аспирант кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры.

Винницкий национальный технический университет.