

УДК 621.317.08

УСТРОЙСТВО, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛАМИ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ С ЗАДАННОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Н.И. Юмагулов, А.Л. Галиев

В статье рассматривается один из способов формирования сигнала воздействия на исследуемые физические объекты с постоянной энергией. Приводится описание разработанного устройства, осуществляющего воздействие на объект исследования сигналами затухающих колебаний с заданной энергией.

Ключевые слова: измерительный генератор заданной мощности, нелинейные теплозависимые объекты, компаратор, заданная энергия, затухающие колебания, заданная мощность.

На сегодняшний день среди большого числа решаемых задач большое внимание уделяется развитию средств измерений, контроля и управления, которые направлены на получение объективной и воспроизводимой информации о состоянии протекающих процессов или свойствах объекта исследования (ОИ).

Зачастую оценку состояния ОИ осуществляют через электрофизические параметры (ЭП) как наиболее удобные для измерения, передачи и воспроизведения. Как правило, оценка ЭП осуществляется введением в ОИ электрической энергии в виде заданного значения тока или напряжения.

Однако при исследовании нелинейных, теплозависимых объектов введение электрической энергии приводит к изменению их термодинамического состояния, проявляющемуся в изменении их формы, структуры и соответственно ЭП. В свою очередь, изменение ЭП приводит к изменению величины протекающего через него тока или напряженности приложенного электрического поля и, соответственно, рассеиваемой в нем электрической энергии. Неопределенность вносимого возмущения, вызванная нелинейной зависимостью изменения ЭП ОИ от приложенной электрической энергии, отражает существенный недостаток общепринятых методов измерения, выраженный плохой воспроизводимостью полученных результатов измерения и невозможностью их интерпретации.

Для получения однозначных и воспроизводимых результатов при исследовании теплозависимых объектов предложено [1, 2] использовать измерительные генераторы заданной мощности (ИГЗМ), обеспечивающие постоянство вносимого возмущения и определенность термодинамического состояния ОИ.

Техническая реализация измерительных генераторов, обеспечивающая работу контрольно-измерительных приборов в постоянном энергетическом режиме, возможна при воздействии на объект исследования энергией заряженного конденсатора [3].

На рис. 1 приведена функциональная схема разработанного формирователя затухающих колебаний с постоянной энергией и мощностью (ФЗЭМ), по сути являющегося измерительным генератором, учитывающим нелинейность и теплозависимость исследуемых объектов на вносимое возмущение.

Разработанный ФЗЭМ представляет собой устройство, работающее в режиме импульсной генерации, в котором постоянство мощности достигается воздействием на объект исследования сигналами, заполненными затухающими гармоническими колебаниями.

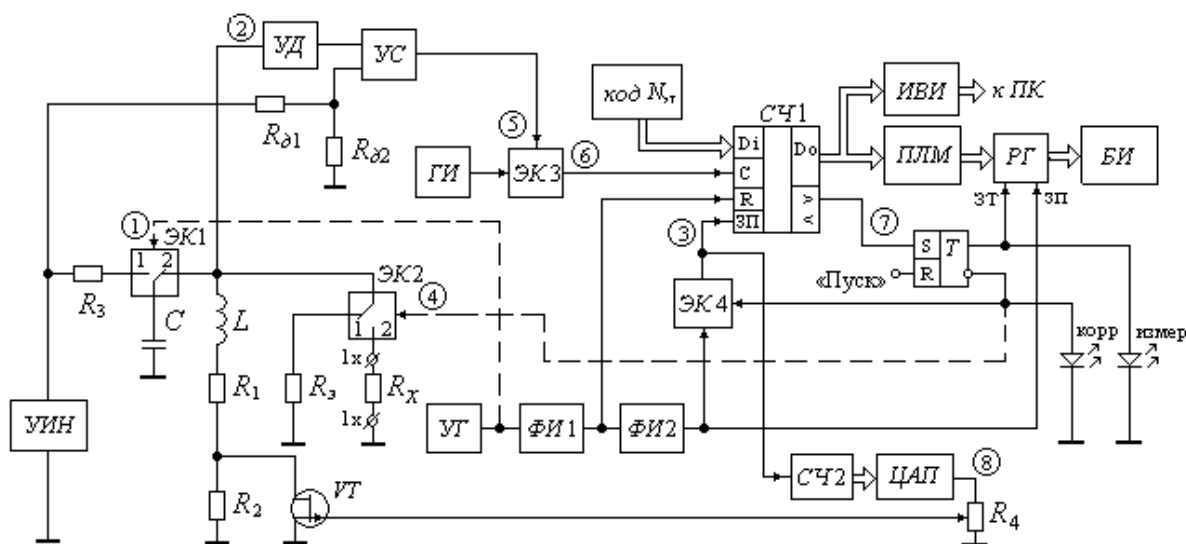


Рис. 1. Структурная схема ФЗЭМ, воздействующего на объект исследования энергией заряженного конденсатора

В состав устройства входят: УИН – управляемый источник напряжения; ЭК1 – электронный ключ управления процессами заряда и разряда конденсатора C ; ЭК2 – электронный ключ, позволяющий выбирать режим коррекции мощности сигнала или режим воздействия на объект исследования; УД – усилитель-детектор, выпрямляющий переменное напряжение затухающего колебания контура; УС – устройство сравнения (компаратор), отслеживающее изменение напряжения на контуре; ГИ – генератор импульсов эталонной частоты; ЭК3 – электронный ключ, останавливающий отсчет импульсов, подаваемых с генератора эталонной частоты; ЭК4 – электронный ключ, разрешающий предустановку СЧ1; СЧ2 – счетчик числа циклов коррекции; Т – триггер, устанавливающий режим работы ИГЗМ; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, управляющий сопротивлением

канала транзистора VT ; PG – регистр временного хранения числа импульсов; UG – управляющий генератор; $\PhiИ1$ и $\PhiИ2$ – формирователи импульсов; $ПЛМ$ – программируемая логическая матрица; $БИ$ – индикатор, отображающий величину сопротивления ОИ; $ИВИ$ – интерфейс вывода информации на персональный компьютер.

Временные диаграммы, поясняющие принцип работы системы коррекции, приведены на рис. 2, номера эюр которого соответствуют цифровым обозначениям контрольных точек, указанных на рис. 1.

Автокоррекция мощности, осуществляемая путем управления сопротивлением открытого канала транзистора VT (см. рис. 1), производится при каждом включении источника питания прибора, в процессе которого электронный ключ $ЭК4$ находится в состоянии, запрещающем запись в регистр хранения PG .

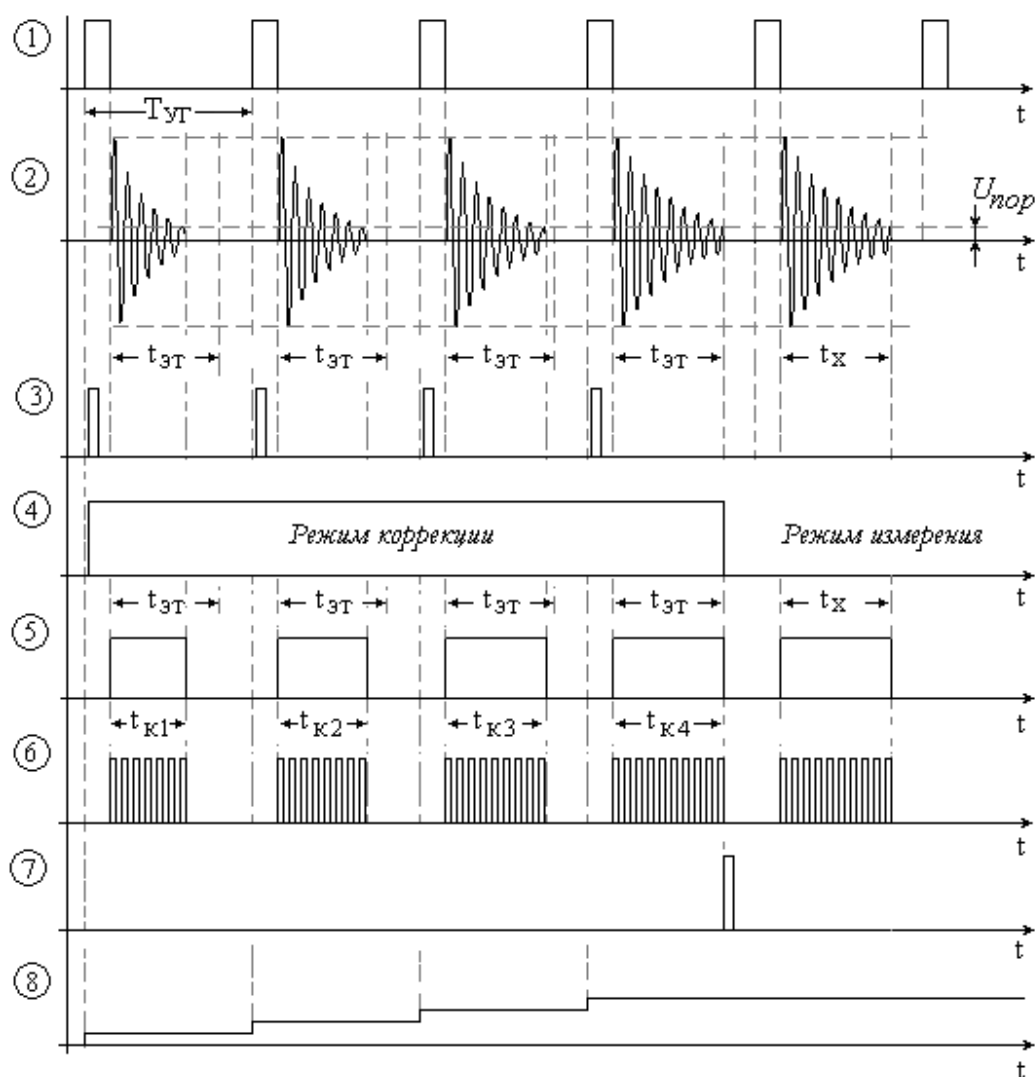


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу системы коррекции мощности

Коррекция может протекать в течение от одного до десяти циклов, т.е. за время от 0,1 до 1,0 с. Под действием управляющего импульса генератора УГ, длительность которого определяется временем заряда конденсатора C_1 (позиция 1):

$$t_3 = (3 \div 4)\tau_{зар},$$

осуществляется «сброс» СЧ1 и последующая «запись» в его регистр памяти кода эталонного числа $N_{ЭГ}$ (позиция 3), определяемого выражением:

$$\text{код } N_{ЭГ} = M - N_{ЭГ},$$

где M – модуль счета СЧ1. При формировании заднего фронта управляющего импульса электронный ключ ЭК1 коммутирует конденсатор в цепь, содержащую катушку индуктивности, образуя параллельный колебательный контур, который формирует затухающие квазигармонические колебания (позиция 2). Напряжение, снимаемое с контура, образует сигнал воздействия, который в режиме коррекции подается на эталонное сопротивление $R_Э$.

По мере достижения амплитудой предварительно выпрямленного усилителем-детектором УД затухающего колебания уровня опорного напряжения, подаваемого с делителя сопротивлений $R_{\partial 1}$ и $R_{\partial 2}$:

$$U_{он} = E_0 \frac{R_{\partial 2}}{R_{\partial 2} + R_{\partial 1}},$$

на выходе компаратора УС формируются прямоугольные импульсы (позиция 5), длительность которых зависит от эталонного сопротивления $R_Э$ и сопротивления потерь контура R_n , определяемого суммой:

$$R_n = R_L + R_1 + \frac{R_2 \cdot R_{VT}}{R_2 + R_{VT}},$$

где R_L – активное сопротивление катушки индуктивности; R_{VT} – сопротивление канала управляющего транзистора.

В момент равенства напряжений компаратор, управляя ключом ЭК3, останавливает отсчет импульсов N_i (позиция 6), поступивших с генератора ГИ на вход СЧ1. Сосчитанное счетчиком число импульсов, определяемое частотой генератора $f_{ГИ}$ и длительностью выходного импульса компаратора, «суммируется» с модулем счета M , результат которого сравнивается с «эталонным» числом.

При числе импульсов меньше эталонного числа процесс коррекции, осуществляемый в течение от одного до десяти циклов генератора УГ, продолжается, с каждым управляющим импульсом которого содержимое счетчика СЧ2 увеличивается на единицу (позиция 8). В свою очередь, увеличение содержимого счетчика приводит к изменению управляющего сопротивлением канала VT напряжения на выходе ЦАП, полярность которого

выбирается так, чтобы при росте напряжения сопротивление канала V_T уменьшалось. Длительность процесса коррекции, осуществляемая до наступления момента, когда число принятых импульсов будет соответствовать эталонному числу, не превышает $0,1 \div 1,0$ с.

При равенстве числа поступивших импульсов с «эталонным» числом счетчик $СЧ1$ коротким импульсом (позиция 7) опрокидывает триггер T (позиция 4), который «запрещает» предустановку $СЧ1$, работу $СЧ2$ и «разрешает» запись информации в регистр $РГ$ и одновременно переключает ключ $ЭК2$ в режим измерения R_x .

Воздействие на объект исследования в «режиме измерения» осуществляется средней энергией W_{cp} , изменение которой относительно величины накопленной на конденсаторе энергии W представлено на рис. 3.

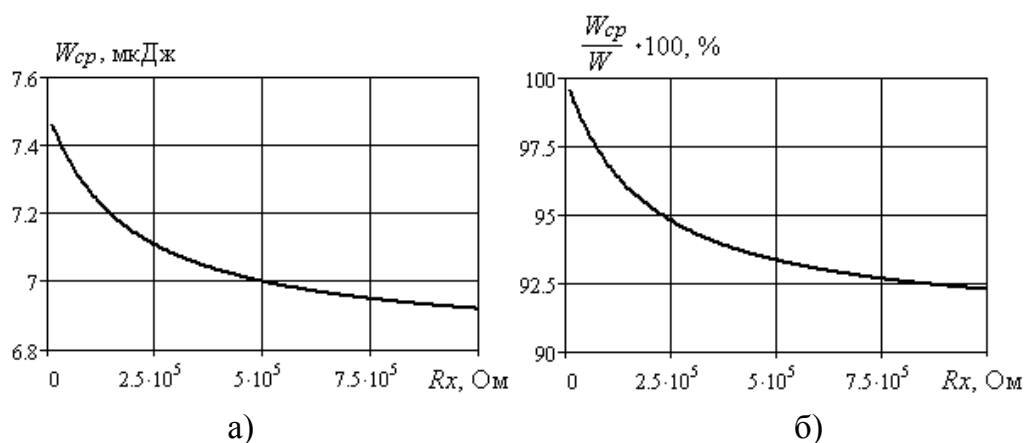


Рис. 3. Абсолютное (а) и относительное (б) изменение средней рассеиваемой энергии в нагрузке от сопротивления ОИ R_x

Нелинейный характер изменения энергии, вводимой в объект исследования, объясняется увеличением потерь на активном сопротивлении контура R_n (см. рис. 3б). Поэтому для поддержания с заданной точностью вводимый в ОИ средней мощности, график которой представлен на рис. 4, целесообразно весь диапазон изменения сопротивления нагрузки разбить на отдельные поддиапазоны.

Помимо потерь на активном сопротивлении контура потребление энергии осуществляется в течение всего времени работы устройства. Поэтому для измерительного генератора, работающего от автономного источника питания, практический интерес представляет оценка экономичности и КПД устройства. Не рассматривая вопросы управления отдельных функциональных узлов измерительного генератора, которые определяют ряд основных параметров, таких как ток потребления, скорость нарастания сигнала воздействия и т.д., потребление энергии во многом связано с процессом заряда конденсатора C (рис. 1) и формированием затухающего колебания в колебательном контуре.

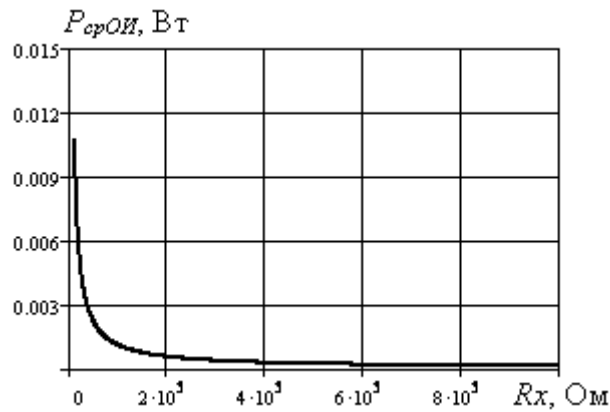


Рис. 4. Изменение рассеиваемой в ОИ средней мощности сигнала воздействия от R_x

В процессе заряда скорость нарастания напряжения на обкладках конденсатора определяется значением сопротивления R_3 , минимальное значение которого определяется предельным значением тока электронного ключа ЭК1 (рис. 1). При длительности $\tau_{зар} = 3R_3C = 0,1$ мс, в течение которого напряжение на конденсаторе C возрастает до $0,952E_0$, максимальное значение тока заряда при $E_0=10$ В составляет $I_{\max зар} = \frac{E_0}{R_3} = 45,5$ мА. При среднем значении тока $I_{ср зар} = 18$ мА, убывающем по экспоненте, на сопротивлении R_3 рассеивается количество энергии, определяемое выражением:

$$W_{R3} = \int_0^{\tau_{зар}} \frac{E_0^2}{R_3} e^{-\frac{2t}{\tau}} dt,$$

величина которого равна 7,48 мкДж при напряжении $E_0=10$ В.

Изменение напряжения питания E_0 за счет увеличения тока заряда приводит к увеличению потерь контура, зависимость которой представлена на рис. 5. Однако за счет увеличения накопленной на конденсаторе энергии:

$$W = \frac{CE_0^2}{2}.$$

коэффициент полезного действия в течение заряда конденсатора остается постоянным, величина которого при сопротивлении $R_3=220$ Ом не превышает 50,1 %.

В процессе формирования затухающего колебания в колебательном контуре энергия заряженного конденсатора W рассеивается на ОИ и активном сопротивлении потерь контура, состоящее из резисторов R_1, R_2 , сопротивления открытого канала транзистор VT , активного сопротивления катушки индуктивности L и электронного ключа. Использование электрон-

ного ключа, составленного из двух пар кремниевых эпитаксиально-планарных МДП транзисторов с сопротивлением канала 1,2 Ом, катушки индуктивности с индуктивностью 0,17 Гн, выполненного из медного провода диаметром более 0,5 мм, позволяет изготовить колебательный контур, активное сопротивление которого будет в пределах 6–8 Ом.

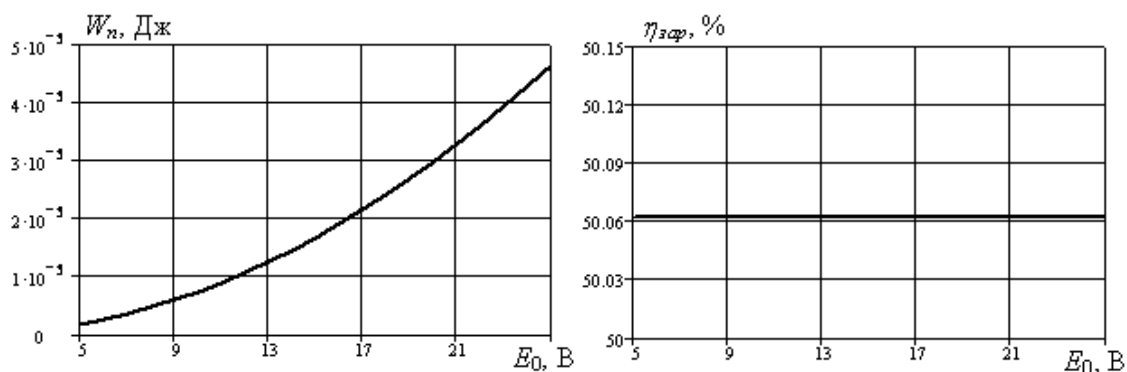


Рис. 5. Зависимость изменения потерь энергии и КПД заряда конденсатора при изменении напряжения $U_{ИН}$

В заключение отметим, что разработанный формирователь затухающих колебаний постоянной энергии и мощности может работать как автономный генератор заданной мощности и энергии с автокоррекцией мощности, обладающий высокими метрологическими характеристиками.

Библиографический список

1. Гусев, В.Г. Новый подход к построению приборов для измерения электрического импеданса биологических тканей / В.Г. Гусев // Измерительная техника. – 1996. – № 2. – С. 59–61.
2. Измерительный генератор с колебательным контуром и автокоррекцией мощности / А.Л. Галиев, Н.И. Юмагулов, А.В. Орлов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 5. – С. 62–65.
3. Экономичный датчик информации для измерительных генераторов / Н.И. Юмагулов, А.В. Орлов, А.Н. Ликонцев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 8. – С. 66–70.

[К содержанию](#)