

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3819/2-80

11/8-80  
13 - 12983

В.И.Данилов, А.А.Попов, В.С.Хабаров

ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ  
ИМПУЛЬСОВ ТОКА ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

*Направлено в ПТЭ*

1980

Для исследования сверхпроводящих материалов, а также в некоторых биофизических опытах<sup>1,2/</sup> требуются специальные источники токов - инфранизочастотные генераторы импульсов тока треугольной формы с амплитудой до 10 А. Специфика подобных устройств заключается в том, что они должны обеспечивать линейное нарастание /спад/ токов в нагрузке до заданного значения за время, измеряемое минутами и часами. Другая проблема, возникающая при их разработке, определяется диапазонами изменения сопротивления нагрузки, рабочих токов, и связана с рассеиваемой мощностью на активных элементах прибора.

В данной работе приводится описание двух генераторов тока: ГИТ - генератора импульсов тока треугольной формы и УГТ - универсального генератора тока, в которых решены приведенные выше вопросы.

ГИТ предназначен для работы на сверхпроводящую нагрузку, в которую он формирует импульсы тока треугольной формы с амплитудой до 2 А, временем нарастания и спада в диапазоне плавной регулировки 1÷20 мин. Основные элементы принципиальной схемы ГИТ показаны на рис. 1. Генератор состоит из выходного усилителя мощности /УМ/ и формирователя управляющего напряжения треугольной формы /ФНТ1/. Обе схемы генератора питаются от сети через блок трансформатора и выпрямителей /БТВ/.

Усилитель мощности построен по схеме стабилизатора<sup>3/</sup> тока последовательного типа со 100-процентной обратной связью, снимаемой с заземленного шунта ( $R_1$ ), и с использованием в качестве элемента сравнения и усиления сигнала рассогласования операционного усилителя 1УТ401А /У1/. Для защиты сверхпроводящей нагрузки к выходным клеммам генератора через эмиттерные повторители /Т1/ подключен операционный усилитель У2 в режиме компаратора, который при срыве сверхпроводимости через транзистор  $T_8$  посылает в ФНТ1 сигнал, запрещающий работу генератора. Порог срабатывания защиты устанавливается потенциометром  $R_2$  в пределах 1-20 мВ.

ФНТ1 определяет временные и амплитудные параметры импульсов выходного тока генератора. Временные характеристики реализуются интегратором /УЗ/ с времязадающими элементами ( $R_3, C_1$ ) интегрированием постоянных уровней напряжений разной полярности, которые подключаются к входу интегратора контак-

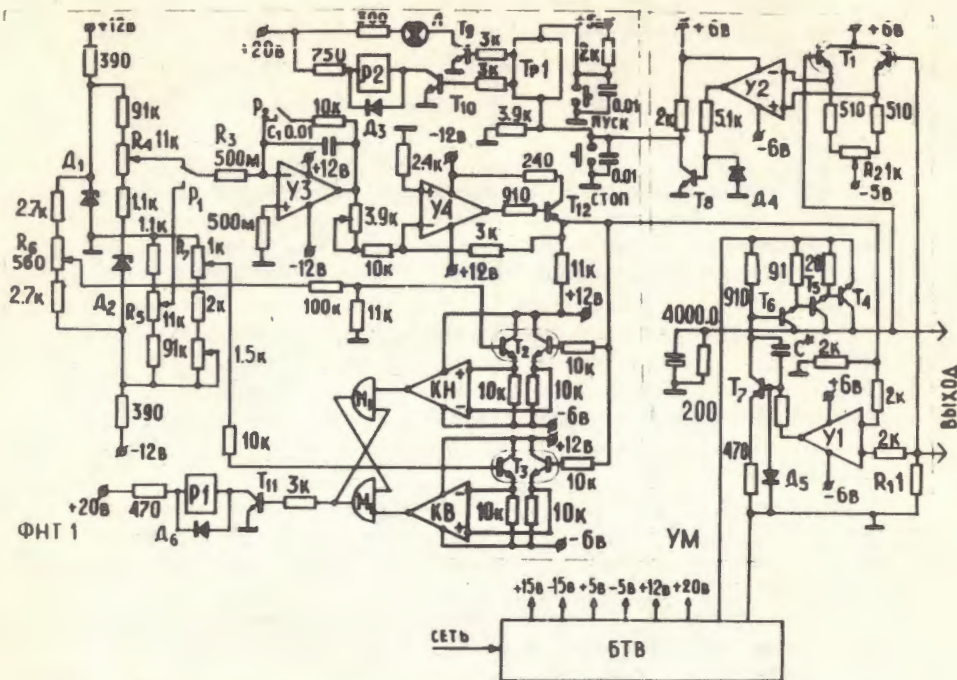


Рис. 1. Основные элементы принципиальной схемы ГИТ. Т1÷Т3 - К1НТ591В; У1, У2 - 1УТ401; У3 - ЛН0042; КН, КВ - К554СА2; М2 - 1ЛБ553; Т4 - КТ808А; Т5 - КТ807А; Т6, Т8÷Т11 - КТ315; Т7, Т12 - КТ326Б; Д1, Д2 - Д818Е; Д3÷Д6 - КД522, Р1 - РЭВ18А; Р2 - РЭС55А.

тами реле Р1 и задаются потенциометрами  $R_4$ ,  $R_5$ . В схеме интегратора использован операционный усилитель ЛН0042 /который можно заменить усилителем типа 140УД8/ и зарядная емкость типа ФТ-1 ( $C_1$ ). Выходное напряжение интегратора, проходя через согласующий усилитель У4, поступает через эмиттерные повторители  $T_2$ ,  $T_3$  на компараторы нижнего /КН/ и верхнего /КВ/ уровней выходного напряжения формирователя. Компараторы управляют через триггер /М1/ и ключевой транзистор  $T_{11}$  работой реле Р1. Пороги срабатывания компараторов устанавливаются потенциометрами  $R_6$ ,  $R_7$ , а разность напряжений порогов верхнего и нижнего уровней задает амплитудное значение импульсов управляющего напряжения ФНТ1, а следовательно, и выходного тока ГИТ.

Сигнал запрета работы генератора поступает с УМ /Т8/ на триггер запрета /Тр.1/, который управляет работой реле Р2

и световой индикацией. Контакты Р2 шунтируют времязадающую емкость  $C_1$  интегратора, блокируя его работу. Наряду с этим запретить работу генератора можно командой с кнопки "Стоп", а запуск осуществить кнопкой "Пуск". Отличить оба состояния можно по световой индикации /Л/ на передней панели блока.

В разработанном генераторе на выходном транзисторе  $T_4$  /рис. 1/ рассеиваемая мощность равна ~10 Вт, транзистор устанавливается на радиаторе площадью 400 см<sup>2</sup>. В данном случае проблемы теплоотвода не возникает. Она становится серьезной при разработке универсального генератора тока /УГТ/, который должен обеспечивать выходные токи в пределах 0÷10 А в диапазоне сопротивления нагрузки 0÷3 Ом. На рис. 2 представлены расчетные зависимости  $P=f(I_H, R_H)$  /кривые I, II, III/ при использовании в выходном каскаде УГТ линейного стабилизатора тока. Отвод данной мощности часто решается путем применения жидкостного охлаждения транзисторов /4/, что неудобно при использовании генератора в качестве переносного прибора. Поэтому УГТ разработан по схеме двухступенчатой стабилизации /рис. 3/. На выходе генератора находится линейный стабилизатор тока /ЛСТ/, а минимальное падение напряжения  $U_{кз}$  на его проходных транзисторах автоматически поддерживает экономичный импульсный регулятор напряжения /8,5/ последовательного типа /ИРН/.

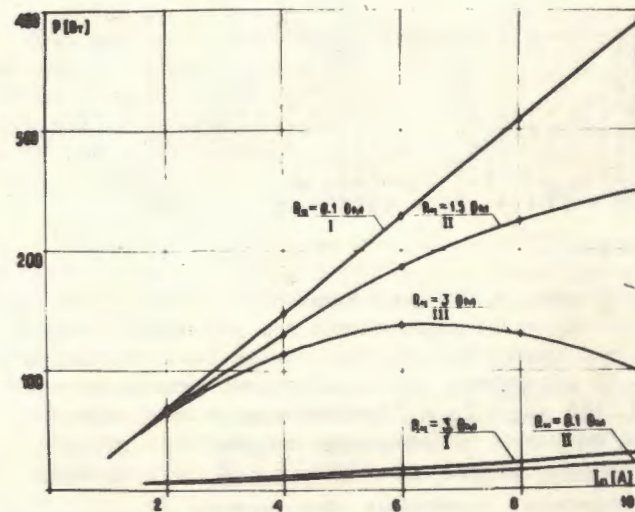


Рис. 2. Зависимости рассеиваемой на проходных транзисторах мощности в ЛСТ (I, II, III) и в УГТ (IV, V) от сопротивления и тока нагрузки.

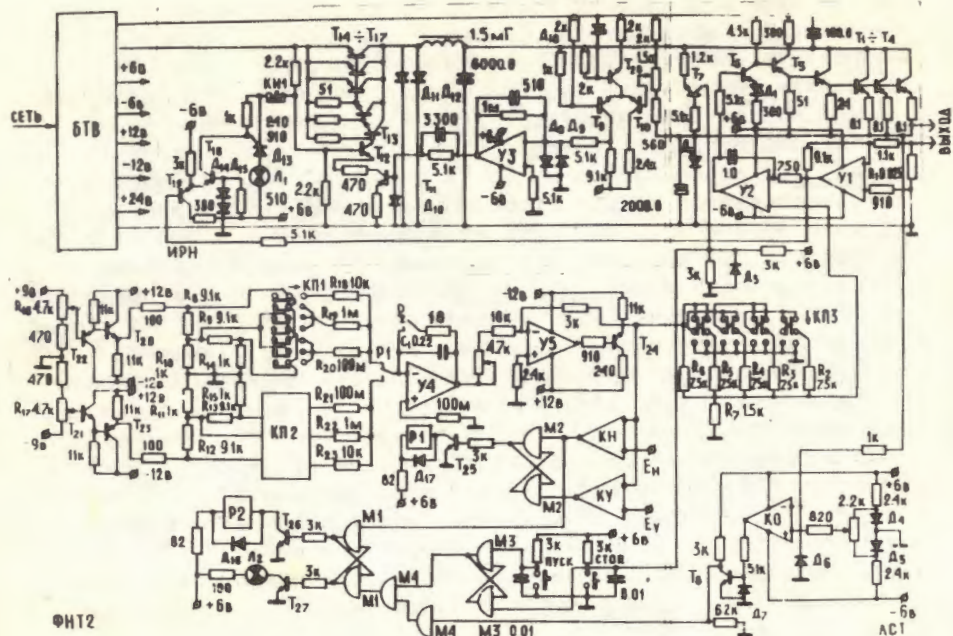


Рис. 3. Основные элементы принципиальной схемы УГТ. У1 - 1УТ531; У2, У3, У5, КО - 1УТ401; У4 - ЛН0042; КН, КУ - К554СА2; М1, М2 - 1ЛБ553; Т1÷Т4 - П210А; Т5, Т6, Т18 - МП26Б; Т7÷Т10, Т19÷Т21, Т24÷Т28 - КТ315; Т11, Т12, Т22, Т23 - КТ326Б; Т13 - КТ608Б; Т14÷Т17 - КТ808А; Д1 - КС147; Д2 - Д243; Д3÷Д10, Д14÷Д17 - КД522; Д11, Д12 - КД213; Д13 - КУ101; Д18 - КС133; Р1 - ЭВ18А; Р2 - ЭС55А.

Усиленный сигнал датчика выходного тока ( $R_1, U_1$ ) сравнивается на операционном усилителе  $U_2$  с управляющим напряжением, поступающим с переключаемого делителя диапазонов /КП3,  $R_2 \div R_7$ /. Усилитель  $U_2$  управляет мощным выходным повторителем на транзисторах П210А / $T_1 \div T_4$ /. Напряжение на нагрузке ЛСТ сравнивается с выходным напряжением импульсного регулятора на дифференциальном усилителе / $T_9, T_{10}$ /, и усиленный сигнал ошибки переключает проходные транзисторы / $T_{13} \div T_{17}$ /. ИРН через каскадный ключевой каскад / $T_{11}, T_{12}$ /. и триггер Шмитта, выполненный на операционном усилителе 1У401А /У3/.

Мощные транзисторы ЛСТ / $T_1 - T_4$ /. работают в линейной области своих характеристик при  $U_{КЭ} \geq 1,2$  В, а максимальная

частота переключения ключевых элементов ИРН  $\sim 4$  кГц. На рис. 2 можно увидеть снятые зависимости суммарной мощности, которая рассеивается на выходных полупроводниковых приборах обоих регуляторов, от тока и сопротивления нагрузки /кривые IV, V/. Мощные полупроводниковые приборы регуляторов установлены на радиаторы с общей площадью 2000 см<sup>2</sup> и надежно работают без принудительного охлаждения.

Более надежную работу УГТ обеспечивают схемы защиты. Сигнал превышения тока нагрузки над допустимым снимается с выхода усилителя  $U_1$ , и через транзисторы  $T_{18}, T_{19}$  открывает тиристор  $D_{13}$ , который блокирует переключение в импульсном регуляторе, о чем свидетельствует световая индикация /Л1/ на передней панели блока. При выходе из строя проходных транзисторов ИРН напряжение выпрямителя генератора поступит на выходные транзисторы ЛСТ, что приведет к их тепловому пробую. Чтобы исключить данную ситуацию, с коллектора транзистора  $T_7$  формируется сигнал, запрещающий работу управляющего блока, закрывая таким образом проходные транзисторы ЛСТ.

В качестве источников управляющего напряжения в УГТ используется два блока: ФНТ2 - формирователь импульсов напряжений треугольной формы и цифро-аналоговый интегратор, разработанный ранее [5].

Блок ФНТ2 по принципу работы аналогичен формирователю, описанному выше. На рис. 3 показаны необходимые элементы его принципиальной схемы. Для формирования времени нарастания /спада/ в пределах  $10^{-3}$  до  $10^4$  с в схеме использованы набор времязадающих сопротивлений ( $R_{18}, R_{23}$ ), подключаемых к делителям ( $R_8 \div R_{13}$ ) клавишными переключателями /КП1, КП2/, и потенциометры плавной регулировки ( $R_{16}, R_{17}$ ) для каждого диапазона.

При этом формирование выходных импульсов ФНТ2 осуществляется после спада тока в нагрузке УГТ до нулевого уровня, что определило логику работы формирователя. Компаратор нижнего уровня КУ выходного напряжения формирователя через транзистор  $T_{26}$  и триггер  $M_1$  блокирует работу интегратора  $U_4$  контактами реле  $P_2$  и одновременно переключает полярность входного напряжения интегратора. Следующий импульс начнет формироваться после прихода сигнала с компаратора нуля ЛСТ /КО,  $T_8$ /, опрокидывающего триггер  $M_1$  в состояние, разрешающее работу интегратора.

Второй управляющий работой УГТ блок цифро-аналогового интегратора [6] полностью взаимозаменяем с ФНТ2. Он построен на основе 12-разрядного цифро-аналогового преобразователя с реверсивным счетчиком и цифровой схемой сравнения. Интег-

ратор служит источником точного опорного напряжения с временем ступенчато-линейного нарастания и спада в диапазоне  $30 \text{ с} \div 4 \text{ ч}$ , и работает в режиме постоянного выходного напряжения; в него также введены режимы разовых и периодических импульсов треугольной формы.

Оба генератора разработаны в виде индивидуальных приборов с питанием от сети. ГИТ выполнен в виде вставного блока с шириной передней панели  $120 \times 160 \text{ мм}^2$ . УГТ выполнен из 4 вставных блоков следующих типов: блок питания с размерами передней панели  $100 \times 240 \text{ мм}^2$ , блок ЛСТ  $45 \times 240 \text{ мм}^2$ , блок ИРН  $45 \times 240 \text{ мм}^2$ , блок управления  $50 \times 240 \text{ мм}^2$ . В настоящее время ГИТ работает при испытаниях сверхпроводящих образцов, а три экземпляра УГТ используются в исследованиях влияния магнитных полей на биологические объекты<sup>2,3/</sup>.

В заключение авторы выражают благодарность А.В.Карпухину, В.Е.Жильцову и Н.Я.Калинкину за монтаж и помощь при настройке приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.И. О возможности механизма действия электромагнитных полей на биосферу земли. В кн.: Материалы научно-технического симпозиума. Ялта, 25-27 ноября 1975 г. "Наука", М., 1975.
2. Герасименко В.Н., Говорун Р.А., Данилов В.И. Влияние медленно меняющихся во времени магнитных полей на хромосомный аппарат лимфоцитов крови человека. Материалы научно-технического симпозиума. Ялта, 25-27 ноября, 1975. "Наука", М., 1975.
3. Додик С.Д. и др. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. "Сов. радио", М., 1969.
4. Бергельсон И.Г. и др. Транзисторы, параметры, методы измерений и испытаний. "Сов. радио", М., 1968.
5. Нахратский В.М., Попов А.А., Хабаров В.С. ОИЯИ, 13-11795, Дубна, 1978.
6. Бычков Н.С. и др. ПТЭ, 1975, №4, с.146.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 мая 1980 года.