

С. А. АНДРУСЯК, И. И. КВАСНЫЦЯ, С. Г. СУСУЛОВСКИЙ,
Б. Н. ЮРЧЕНКО

(Львов. СКБ микроэлектроники в приборостроении)

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

УДК 621.373.029.4.089.6

Основные требования, предъявляемые к измерительным источникам переменного напряжения синусоидальной формы кривой, следующие: высокая кратковременная стабильность и плавность установки выходного напряжения, малые нелинейные искажения (н. и.), большое выходное напряжение и мощность, низкоомный выход и стабильность частоты. Генераторы, серийно выпускаемые промышленностью, не полностью удовлетворяют указанным требованиям, что затрудняет их использование в качестве источников питания высокоточных измерительных схем переменного тока.

В СКБ МП разработан, аттестован во ВНИИМ имени Менделеева и внедрен в электроизмерительную практику высокостабильный источник переменного напряжения (ИПН) звукового диапазона частот. ИПН состоит (рис. 1, а) из задающего генератора (ЗГ), усилителя мощности (УМ), источника накальных напряжений (ИНН), источника анодных напряжений (ИАН) и стабилизатора напряжения 800 В (СН-800).

При разработке ЗГ за основу был взят RC-генератор с мостом Вина и частотоопределяющей ветвью моста в виде Г-образного четырехполюсника (рис. 1, б). Как известно [2, 3, 5, 6], такая схема отличается высокой стабильностью амплитуды и частоты, малым коэффициентом н. и. выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ при относительной простоте конструкции. Из-за отсутствия подходящих сдвоенных резисторов с логарифмической зависимостью сопротивления от угла поворота оси плавное изменение частоты ЗГ в современных конструкциях производят сдвоенными конденсаторами переменной емкости (КПЕ). Наличие паразитной емкости на входе таких ЗГ, которая определяется входной емкостью усилителя и емкостью между корпусом КПЕ и корпусом прибора, создает опасность возникновения паразитных автоколебаний генератора на низкой частоте. В соответствии с [3] выходное напряжение схемы рис. 1, б (при условии устойчивой генерации) определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \left(\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} - \frac{R_0}{R_0 + R_T} \right) \quad (1)$$

Влияние паразитной емкости, включенной параллельно емкости C_2 , проявляется в том, что при изменении емкости КПЕ значение C_2/C_1 не остается постоянным, а увеличивается с

уменьшением емкости $KПЕ$. Как видно из выражения (1), это приводит к автоматическому изменению положения рабочей точки термистора R_T и к уменьшению $U_{\text{вых}}$ при возрастании частоты. Компенсация паразитной емкости включением конденсатора C_0 параллельно $C1$ (рис. 1, б) устраняет зависимость выходного напряжения от частоты.

Стабилизация $U_{\text{вых}}$ ИПН осуществляется, как правило, компенсационным способом или способом параметрической стабилизации с нелинейным элементом в цепи отрицательной обратной связи (ООС) [6].

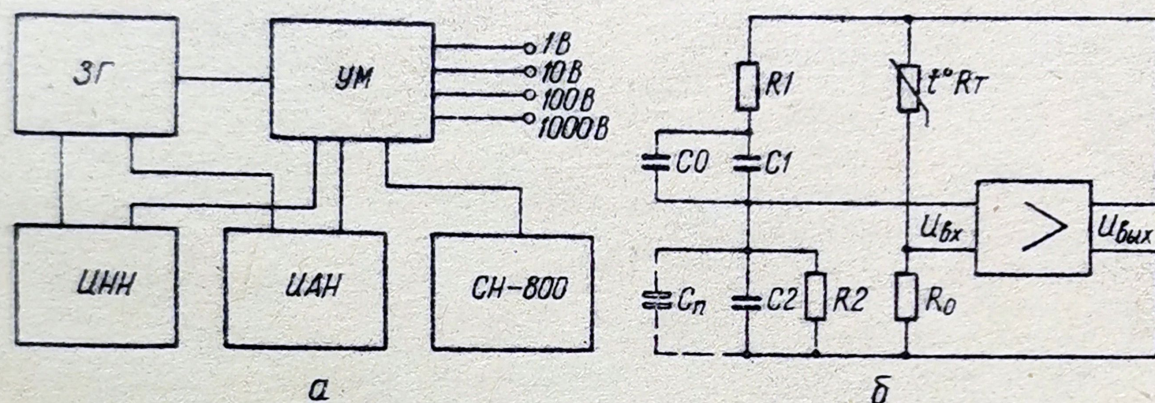


Рис. 1. Блок-схема ИПН (а) и схема моста Вина (б).

ЗГ — задающий генератор; ЦНН, ЦАН — источники соответственно накальных и анодных напряжений; СН-800 — стабилизатор напряжения 800 В; УМ — усилитель мощности с выходными напряжениями 1, 10, 100, 1000 В.

Первый способ стабилизации $U_{\text{вых}}$, используемый при построении калибраторов переменного напряжения, обеспечивает их высокую долговременную стабильность, но требует применения сложных компенсационных устройств, высокостабильных источников опорного сигнала, схем сравнения и др.

Второй способ стабилизации $U_{\text{вых}}$ ИПН в сочетании со стабилизацией питающих напряжений дает возможность сравнительно простыми средствами получить кратковременную стабильность $U_{\text{вых}}$ (более 0,01%), что обеспечивает поверку большинства аналоговых и цифровых вольтметров отечественного производства. В качестве нелинейных элементов цепи ООС применяют в основном полупроводниковые терморезисторы или лампочки накаливания. Для стабилизации напряжения специально разработаны термисторы [9, 10], имеющие лучшие регулирующие свойства, чем лампочки накаливания. В цепь ООС ЗГ для стабилизации амплитуды включен термистор ТП6/2.

Как показали исследования, $U_{\text{вых}}$ ЗГ при стабильных (0,1% за 5 мин) питающих напряжениях и элементах схемы практически прямо зависит от изменения температуры баллона термистора, то есть от изменения сопротивления R_T как из-за самонагрева, так и из-за изменения окружающей температуры. В связи с этим возникает необходимость термостатировать термистор таким образом, чтобы общее изменение температуры его баллона за 5 мин не превышало 0,05° С [6].

Для термостатирования ТП 6/2 и частотозадающих элементов ЗГ была разработана специальная схема регулятора температуры (рис. 2) и конструкция термостата. Преобразователи температуры (терморезисторы $R1-R3$) совместно с резистором $R4$ являются плечами моста постоянного тока, причем терморезистор $R1$ выбран с положительным TKC , а $R2$ и $R3$ — с отрицательным. Напряжение питания моста стабилизировано стабилизатором $\Delta 1$.

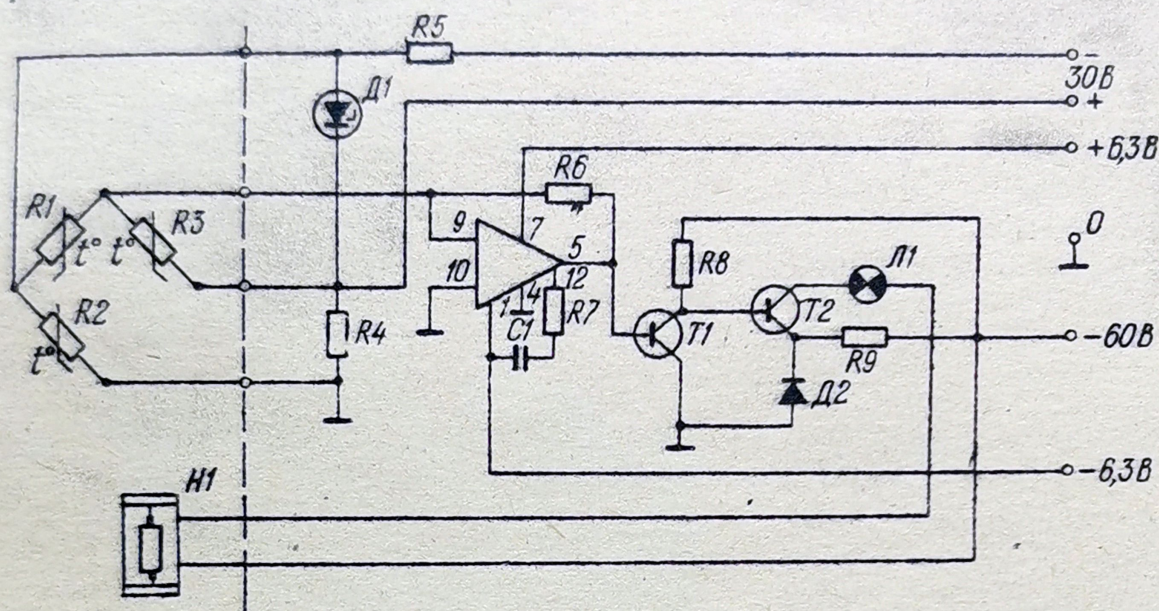


Рис. 2. Принципиальная схема регулятора температуры термостата.

При температуре стабилизации (36°C) мост балансируется подбором сопротивления резистора $R4$. Напряжение разбаланса моста, вызванное понижением температуры, усиливается УПТ У1 и поступает на схему управления током нагревателя (транзисторы $T1$ и $T2$). Значение тока через нагреватель определяется разностью температур $\Delta t = 36^\circ\text{C} - t_k$, где t_k — температура в камере термостата. При $t_k = 20^\circ\text{C}$ нагреватель термостата потребляет мощность около 5 Вт; время выхода на режим термостатирования составляет 25 мин. Мощность, потребляемая в режиме термостатирования, определяется качеством теплоизоляции, конструкцией термостата и составляет 0,8 Вт.

Камера термостата (рис. 3) представляет собой медный, герметически закрытый цилиндр 1, внутри которого находится термистор 2. Для увеличения тепловой инерции объем цилиндра заполнен дистиллированной водой. На боковой поверхности цилиндра укреплены терморезисторы (преобразователи 3) и бифилярно намотан проволочный нагреватель 4. Выводы от рабочего тела термистора наружу — через тепловые компенсаторы 5. Теплоизоляция 6 термостата выполнена из полиуретанового пенопласта.

Требуемая стабильность и малые н. и. $U_{\text{вых}}$ получены специальным отбором термисторов и их тренировкой. Критерием отбора являются минимальные н. и., что одновременно соответствует лучшим стабилизирующим свойствам термисторов.

Необходимое значение $U_{\text{вых}}$ и мощности ИПН обеспечивается работой ЗГ в комплекте с УМ, представляющим собой высококачественный электронный усилитель. Высокая стабильность коэффициента усиления УМ достигнута благодаря применению стабильных элементов схемы, введению глубокой ООС, а также стабилизации накальных и анодных напряжений.

Для получения малых н. и. и требуемой выходной мощности в УМ применена ультралинейная схема двухтактного оконечного каскада [4], выполненного на лампах ГУ-50. Пентоды ГУ-50 в

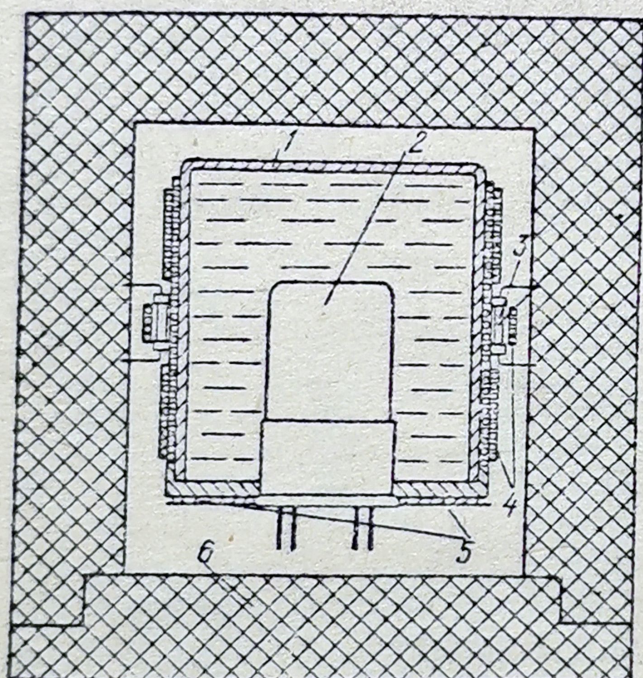


Рис. 3. Термостат.

1 — камера; 2 — термистор; 3 — термо-резистор ТП6/2; 4 — нагреватель; 5 — компенсатор; 6 — теплоизоляция.

режиме АВ обеспечивают отдачу требуемой мощности при анодном напряжении не менее +800 В и напряжении на экранной сетке +250 В. В таком каскаде н. и. обусловлены в основном асимметрией его плеч из-за неидентичности ламп оконечного каскада или выходных напряжений фазоинвертора, а также из-за асимметрии половин первичной обмотки выходного трансформатора [8].

Выходной трансформатор УМ может вносить н. и. еще двух видов: 1) искажения из-за нелинейности характеристик намагничивания материала сердечника трансформатора и 2) искажения, вызван-

ные нестационарными процессами. Искажения первого вида растут с увеличением амплитуды сигнала и с понижением его частоты. Для ограничения этих искажений необходимо, чтобы максимальная индукция в сердечнике при наибольшей амплитуде сигнала не превышала определенного значения [1, 7]. Искажения второго вида возникают при работе выходного трансформатора в режимах В, АВ или с токами сетки [8]. Импульсы тока сигнала в половинах обмотки трансформатора создают несинусоидальное падение напряжения на индуктивности рассеяния обмотки, в результате чего форма выходного напряжения искажена. Искажения этого вида растут с повышением частоты.

Для обеспечения коэффициента н. и. $K=0,5\%$ в конце частотного диапазона индуктивности рассеяния трансформатора необходимо было довести до 0,001 Гн [8]. При низшей частоте (20 Гц) конструирование и изготовление выходного трансформатора со столь малой индуктивностью рассеяния оказалось затруднительным. Наиболее приемлемы в этом отношении трансформаторы с тороидальным сердечником, поскольку они имеют

малую чувствительность к внешним магнитным полям и незначительный внешний магнитный поток рассеяния [1].

Намотка каждой из обмоток трансформатора произведена жгутом, свитым из десяти проводов МГТФ. Витки жгута располагались равномерно по периметру сердечника так, чтобы начало и конец жгута оказались в одной точке. Такая намотка обеспечила точную симметрию половин первичной обмотки, а также незначительную индуктивность рассеяния как между половинами первичной обмотки, так и между первичной и вторичной обмотками. Для обеспечения высоких метрологических характеристик ИПН необходима была стабилизация источников накальных и анодных напряжений. Разработанные источники питания (ИНН, ИАН, СН-800) основаны на схеме компенсационных стабилизаторов. Для получения малой зависимости параметров ИПН от температуры без значительного усложнения его схемы УМ, СН-800, частично ЗГ и ИАН выполнены на лампах.

Испытания и аттестация ИПН во ВНИИМ имени Менделеева показали, что нестабильность выходного напряжения за 5 мин не превышает 0,01%. Коэффициент н. и. при выходной мощности 50ВА не превышает 0,5% в диапазоне частот 40Гц—16 кГц и 1% в диапазоне частот 20—40 Гц и 16—20 кГц.

Разработанный ИПН можно применять в электроизмерительных и госконтрольных лабораториях, а также на промышленных предприятиях, занимающихся поверкой, разработкой, выпуском и эксплуатацией аналоговых и цифровых вольтметров переменного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байлян Р. Х. Трансформаторы для радиоэлектроники. М., «Советское радио», 1971.
2. Воейков Д. Д. и др. Конструирование низкочастотных генераторов. М., «Энергия», 1964.
3. Криксунов В. Г. Реостатно-емкостные генераторы синусоидальных колебаний. Киев, Гостехиздат, 1958.
4. Лабутин В. К. Новое в технике высококачественного усиления. М.—Л., Госэнергоиздат, 1957.
5. Сааков Э. О. Теория и расчет избирательных RC-систем. М.—Л., Госэнергоиздат, 1954.
6. Фоменко В. И. Повышение стабильности выходного напряжения RC-генераторов. — «Измерительная техника», 1973, № 4.
7. Цыкин Г. С. Трансформаторы низкой частоты. М., Связьиздат, 1955.
8. Цыкин Г. С. Усилители электрических сигналов. М., «Энергия», 1969.
9. Шашков А. Г. Терморезисторы и их применение. М., «Энергия», 1967.
10. Шефтель И. Т. Термосопротивления. М., Физматгиз, 1958.