

ГЕНЕРАТОР СТУПЕНЧАТОГО НАПРЯЖЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В. К. ЖУКОВ, И. И. ТОЛМАЧЕВ, Ю. А. КИЛИН

(Представлена научным семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

В работе описан генератор равномерно-ступенчатого напряжения ГСН, примененный в импульсном вольтметре развертывающего уравновешивания.

Построение ГСН на малое число ступенек возможно осуществить с помощью реле или электронных пороговых устройств. При работе в амплитудном вольтметре число ступенек ГСН определяет число уровней квантования измеряемого входного напряжения, т. е. определяет погрешность от дискретности. Для трехразрядного вольтметра было выбрано число импульсов $N=1000$, что соответствует погрешности от дискретности $\gamma_d=0,1\%$. Для построения ГСН на такое число импульсов наиболее приемлемым является описанный в [1] ГСН на основе емкостного делителя (рис. 1).

Рис. 1. Генератор ступенчатого напряжения на основе емкостного делителя.

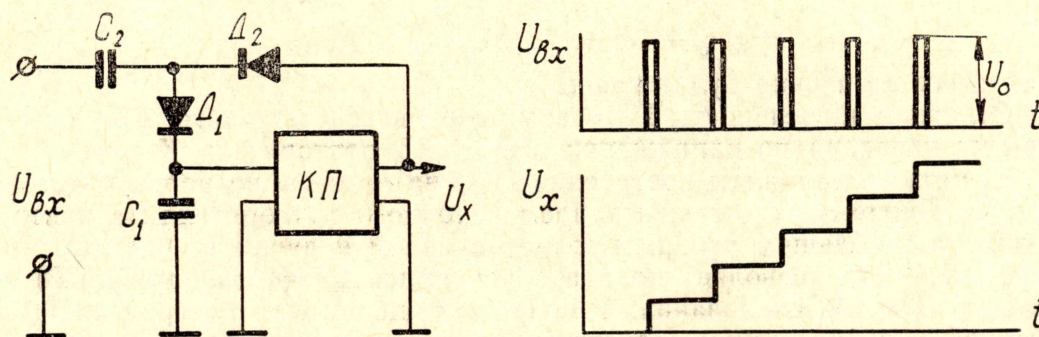
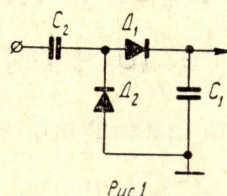


Рис. 2. Генератор ступенчатого напряжения на основе емкостного делителя с катодным повторителем.

На вход ГСН поступают прямоугольные импульсы постоянной амплитуды U_0 . Диод D_1 открыт для положительных входных импульсов, и конденсаторы C_1 и C_2 образуют емкостной делитель напряжения. При прохождении первого импульса напряжения на выходе ГСН

$$\Delta U_1 = U_0 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} : \quad (1)$$

В промежутке между первым и вторым импульсами диод D_2 открывается и конденсатор C_2 разряжается. Диод D_1 в это время закрыт и напряжение ΔU_1 на емкости C_1 изменяется незначительно, если сопротивление нагрузки велико. Второй входной импульс увеличивает напряжение на конденсаторе C_2 еще на одну ступеньку

$$\Delta U_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot (U_0 - \Delta U_1) . \quad (2)$$

После прихода N -ого импульса напряжение на выходе увеличится на

$$\Delta U_N = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot \left(U_0 - \sum_{i=1}^{N-1} \Delta U_i \right) . \quad (3)$$

Отсюда видно, что с увеличением N величина ступеньки уменьшается. Возникающая по этой причине погрешность ГСН будет мала, если

$$N \cdot \Delta U_1 \ll U_0 . \quad (4)$$

Однако при этом коэффициент использования прямоугольного импульса будет мал. Для устранения указанного недостатка в схему между анодом диода D_2 и землей включается катодный повторитель, вход которого подключен к выходу ГСН, а выход к аноду диода D_2 . Теперь после прохождения первого импульса конденсатор C_2 через открытый диод D_2 и выходное сопротивление катодного повторителя разрядится не до нуля, а до напряжения

$$U_{C_2} = \Delta U_1 \cdot K_{\text{кп}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{кп}}$ — коэффициент передачи по напряжению катодного повторителя.

В случае, если $K_{\text{кп}} = 1$, то вторая ступенька выходного напряжения

$$\Delta U_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} (U_0 + U_{C_2} - \Delta U_1) = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot U_0 = \Delta U_1 . \quad (6)$$

N -ная ступенька выходного напряжения

$$\begin{aligned} \Delta U_N &= \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot (U_0 + U_{C_2} - \Delta U_{N-1}) = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times \\ &\times (U_0 + \Delta U_{N-1} - \Delta U_{N-1}) = \Delta U_1 , \end{aligned} \quad (7)$$

то есть все ступеньки будут равны.

Основная погрешность ГСН возникает вследствие того, что коэффициент передачи по напряжению катодного повторителя $K_{\text{кп}} \neq 1$.

Возможны варианты построения ГСН на лампе и на полевом транзисторе. Генератор с использованием катодного повторителя на пентоде обладает большим входным сопротивлением и лучшими частотными свойствами, что позволяет подавать на его вход короткие импульсы с высокой частотой следования. У полевых транзисторов по сравнению с пентодом хуже частотные свойства и высока температурная нестабильность. Поэтому в данной работе исследуется ГСН с катодным повторителем на пентоде.

Принципиальная схема ГСН изображена на рис. 3. Схема управления амплитудой импульсов, поступающих на вход ГСН, собрана на транзисторах T_1 и T_2 . На транзисторе T_2 собран эмиттерный повторитель, который повторяет напряжение, задаваемое на его базе при помощи делителя из магазина R_{58} и сопротивления R_9 . Этот повторитель

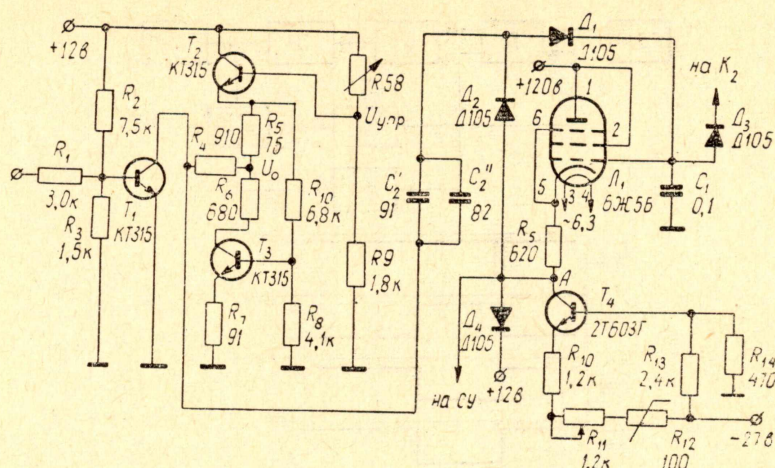


Рис. 3. Принципиальная схема ГСН.

задает напряжение питания для транзистора T_1 , работающего в ключевом режиме. Изменяя напряжение на базе транзистора T_2 , изменяем амплитуду импульса на коллекторе транзистора T_1 . Транзистор T_3 служит для уменьшения нелинейности характеристики управления коэффициентом преобразования ГСН.

Собственно ГСН собран на емкостях C_1 , C_2' , C_2'' и диодах D_1 и D_2 . Равномерность ступенчатого напряжения достигается за счет включения катодного повторителя на пентоде. Особенностью схемы катодного повторителя является то, что в схему включена динамическая нагрузка на транзисторе T_4 , который включен по схеме с общей базой и работает как стабилизатор тока.

В исходном состоянии накопительная емкость разряжена и потенциал сетки равен нулю. С помощью сопротивления R_{11} на выходе катодного повторителя (в точке А) устанавливается нулевой потенциал. Диод D_4 служит для защиты транзистора T_4 и ограничивает его коллекторное напряжение на уровне $+12$ в.

Блок-схема испытания ГСН и временные диаграммы изображены на рис. 4. В исходном состоянии ключ K_1 закрыт и шунтирует переход коллектор-эмиттер транзистора в одном из плеч симметричного мультивибратора, работающего в качестве генератора импульсов (ГИ), обеспечивая, таким образом, срыв генерации. Ключ K_2 также открыт и разряжает емкость C_1 в ГСН. Рабочий ход начинается с того, что генератор однократных импульсов (ГОИ) по команде оператора выдает короткие импульсы, которые переворачивают триггер T_r в положение 1. Ключи K_1 и K_2 закрываются, и ГИ начинает выдавать на вход ГСН прямоугольные импульсы. На каждый входной импульс ГСН выдает на выходе ступеньку напряжения ΔU . С выхода ГСН ступенчатое напряжение U_x подается на сравнивающее устройство (СУ), где оно сравнивается с эталонным напряжением $U_э$. В момент времени, когда $U_э = U_x$, СУ срабатывает и выдает короткие импульсы, которые опрокидывают триггер в положение 0. Схема приходит в исходное состояние, при этом на счетчик импульсов (СИ) проходит пакет импульсов, число которых равно числу ступенек в выходном напряжении ГСН.

Число импульсов, поступивших на вход ГСН, можно определить как

$$N = \frac{U_э}{\Delta U}. \quad (8)$$

Подставляя в (8) ΔU из (7), получаем

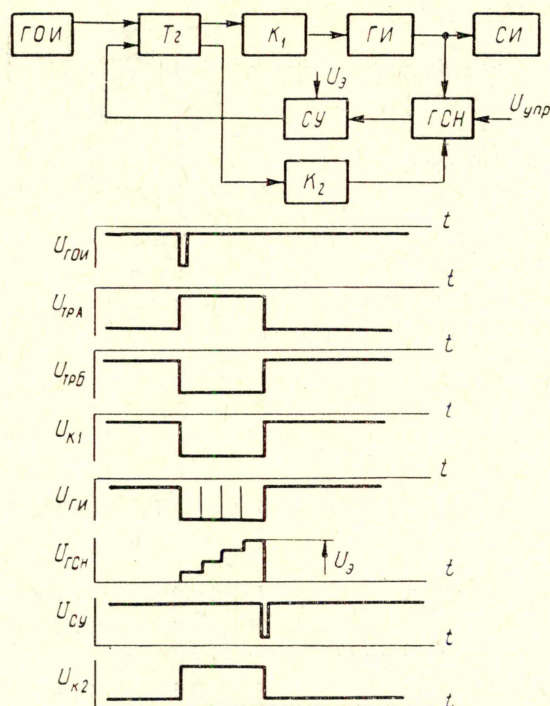


Рис. 4. Блок-схема испытания ГСН и временные диаграммы.

$$N = \frac{U_3}{U_0} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_2}. \quad (9)$$

Отсюда видно, что число импульсов на входе ГСН прямо пропорционально эталонному напряжению на СУ и обратно пропорционально амплитуде входных импульсов. Таким образом, регулируя амплитуду входных импульсов U_0 , можно изменять коэффициент преобразования ГСН и измерять отношения напряжений.

Основной погрешностью ГСН является нелинейность характеристики $N=f(U_3)$, возникающей из-за того, что коэффициент передачи катодного повторителя $K_{кп} \neq 1$. Результаты испытаний ГСН на нелинейность показаны на рис. 5. При этом реальные значения N_d сравнива-

U_3	δ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_d	-	93	186	278	367	458	549	641	732	824	918
N_T	-	92	184	275	366	459	550	642	734	826	918
ϵ	%	1,1	1,05	1,1	0,3	0,24	0,19	0,16	0,23	0,26	0

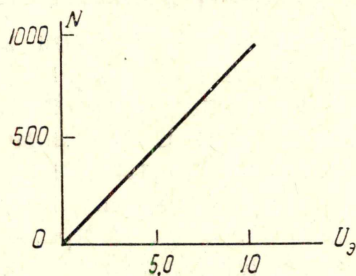


Рис. 5. Испытания ГСН на нелинейность.

лись со значениями точек, лежащих на аппроксимирующей прямой, проведенной по двум крайним точкам ($U_3=0$ и $U_3=10$ в). Из таблицы

видно, что максимальная относительная погрешность $\gamma_{\text{отн max}} = 1,1\%$, а максимальная приведенная погрешность

$$\gamma_{\text{прив max}} = \frac{278 - 275}{918} \cdot 100\% = 0,3\%.$$

Возникновение температурной погрешности ГСН обусловлено, в основном, тремя факторами:

1. При влиянии температуры изменяются величины емкостей C_1 , C_2' , C_2'' , изменяется соотношение $\frac{C_2' + C_2''}{C_1 + C_2' + C_2''}$, то есть изменяется величина ступеньки ΔU генератора. Для устранения этого явления ТКЕ конденсаторов выбраны таким образом, что при изменении температуры отношение $\frac{C_2' + C_2''}{C_1 + C_2' + C_2''}$ изменяется слабо. Для этого были выбраны

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,1 \text{ мкф, } \text{ТКЕ} = -0,0075 \%/\text{град}, \\ C_2 &= 91 \text{ пф, } \text{ТКЕ} = -0,0050 \%/\text{град}, \\ C_2'' &= 8,2 \text{ пф, } \text{ТКЕ} = -0,07 \%/\text{град}. \end{aligned}$$

2. При увеличении температуры возрастает тепловой ток транзистора T_4 и увеличивается потенциал точки А (рис. 3), что эквивалентно увеличению эталонного напряжения U_3 . Для получения хорошей температурной стабильности генератора тока в эмиттер транзистора T_4 включается термосопротивление с положительным ТКС, намотанное из медного провода, которое компенсирует увеличение теплового тока транзистора при увеличении температуры.

3. При увеличении температуры увеличиваются токи утечки диодов D_1 и D_2 , что может вызвать разряд емкости C_1 в паузе между импульсами. Для устранения этого были выбраны кремниевые диоды D_{105} с малыми токами утечки.

Результаты испытания ГСН на температурную нестабильность показаны на рис. 6. Кривая носит ярко нелинейный характер, так как в процессе принимают участие несколько температурозависимых элементов. Из графика рис. 6 видно, что в диапазоне температур $(20 \div 50)^\circ \text{C}$ ГСН обладает температурной погрешностью, не превышающей $\pm 0,2\%$.

Для определения характеристики управления коэффициентом преобразования было задано $U_3 = 10 \text{ в} = \text{const}$. Тогда выражение (9) можно представить

$$N = \frac{U_3}{U_0} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_2} = \frac{K}{U_0}, \quad (10)$$

где K — постоянный коэффициент.

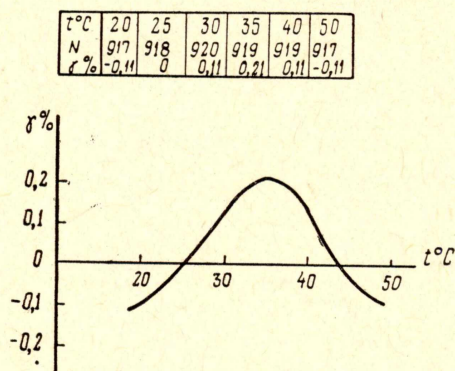


Рис. 6. Испытания ГСН на температурную нестабильность.

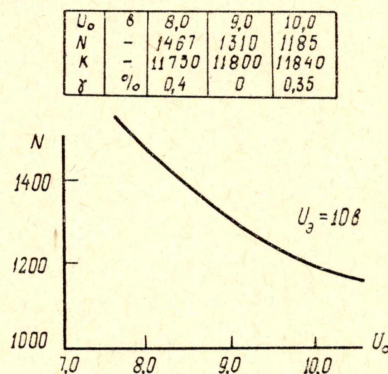


Рис. 7. Характеристика управления коэффициентом преобразования.

Зависимость $N=f(U_0)$ при $U_0=\text{const}$ изображена на рис. 7. Принимая среднюю точку (при $U_0=9$ в) за эталонный, рассчитываем для нее коэффициент.

$$K=N \cdot U_0=1310 \cdot 9,0=11\,800.$$

Сравнивая эту величину с коэффициентами на краях диапазона (при $U_0=8$ в и 10 в), находим, что максимальная нелинейность коэффициента составляет $\gamma_{k\text{ max}}=0,4\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Орнатский. Автоматические измерительные приборы. Киев, «Техника», 1965.

