



УДК 621.373.9
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-10



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Схемотехническая модель генератора линейно изменяющегося напряжения

Андрей Александрович Вольсков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
apologet@yandex.ru

Владислав Михайлович Борисов

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
getboot@yandex.ru

Аннотация. Генераторы электрических импульсов являются неотъемлемой составляющей множества электронных приборов и могут применяться в различных изделиях как в качестве отдельного компонента, так и в составе определенного схемотехнического решения. Практическое использование генераторов электрических импульсов не ограничивается несколькими областями применения, оно охватывает все наукоемкое производство. В связи с этим разработка современных и перспективных схемотехнических решений реализации генераторов электрических импульсов является актуальной задачей. Цель – разработка схемотехнической модели генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН). В процессе разработки схемотехнической модели ГЛИН использовались методы математического, физического и схемотехнического анализа. Разработана схема электрическая принципиальная ГЛИН, и произведено моделирование данной электрической схемы. По результатам моделирования разработанной электрической принципиальной схемы ГЛИН сделан вывод о правильности применяемого схемотехнического решения.

Ключевые слова: генератор линейно изменяющегося напряжения, схемотехническая модель, генератор электрических сигналов, электроника

Для цитирования: Вольсков А. А., Борисов В. М. Схемотехническая модель генератора линейно изменяющегося напряжения // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(2). С. 1–5. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-10

Circuit design model for linear ramp generator

Andrey A. Vol'skov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
apologet@yandex.ru

Vladislav M. Borisov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
getboot@yandex.ru

Abstract. Electrical pulse generators are an integral part of many electronic devices. They can be used in various products, both as a separate component and a part of a specific circuit design. Electrical pulse generators have wide application in the entire high technology production. In this regard, the development of modern and promising circuit design solutions for the implementation of electrical pulse generators is an urgent task. *Objectives.* Development of a circuit design model for linear ramp generator (LRG). *Methods.* Methods for mathematical, physical, and circuit analysis were used in developing a circuit design model for LRG. *Results.* An electrical schematic diagram for LRG has been developed and simulated. *Conclusions and Relevance.* The simulation results have evidenced the accuracy of the developed electrical schematic diagram for LRG, and the applied circuit design model.

Keywords: linear ramp generator, circuit design model, electrical signal generator, electronics

For citation: Vol'skov A.A., Borisov V.M. Circuit design model for linear ramp generator. Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology. 2021;6(2):1–5. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-10



Рассматриваемая схемотехническая модель представляет собой генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), который предназначен для генерирования импульсов выходного напряжения, которые имеют геометрическую форму неравностороннего треугольника. Данная форма импульсов обычно называется пилообразной. Известно несколько форм пилообразного напряжения. Временная диаграмма однополярного пилообразного напряжения показана ниже (рис. 1). Линейно изменяющуюся часть импульса называют прямым или рабочим ходом $t_{пр}$, а малую часть – обратным ходом (периодом восстановления) $t_{обр}$. Амплитуда пилообразного импульса $U_{вых.мах}$ определяется разностью напряжений начала и конца прямого хода.

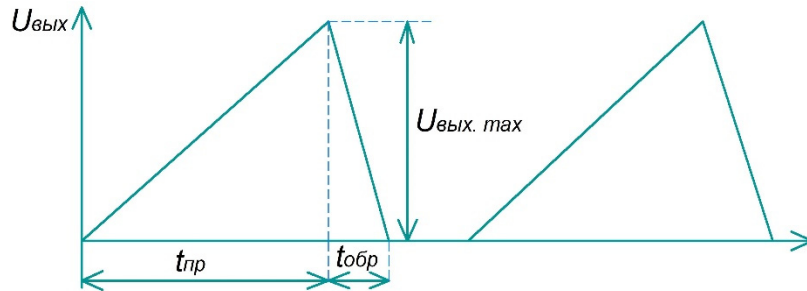


Рис. 1. Временная диаграмма однополярного пилообразного напряжения

Рассмотрим основные исследуемые параметры ГЛИН:

- форма выходных импульсов (может быть не только треугольной, но и трапециoidalной, а также иной, представляющей сложные геометрические фигуры с разной полярностью);
- коэффициент использования напряжения питания ϵ ;
- коэффициент нелинейности $K_{нл}$.

Коэффициент использования напряжения питания ϵ имеет математическое описание в виде

$$\epsilon = \frac{U_{ВЫХ.МАХ}}{E_{П}} . \quad (1)$$

На практике значение величины ϵ желательно иметь как можно больше [1].

Коэффициент нелинейности $K_{нл}$ имеет математическое описание в виде

$$K_{нл} = \frac{\frac{dU_{ВЫХ.НАЧ}}{dt} - \frac{dU_{ВЫХ.КОН}}{dt}}{\frac{dU_{ВЫХ.НАЧ}}{dt}} , \quad (2)$$

где $dU_{ВЫХ.НАЧ}/dt$ и $dU_{ВЫХ.КОН}/dt$ – скорости изменения напряжения в начале и конце прямого хода соответственно.

В зависимости от значения коэффициента нелинейности ГЛИН могут иметь:

- высокую линейность при $K_{нл} < 1$ %;
- среднюю линейность при $K_{нл} = 1 \dots 10$ %;
- низкую линейность при $K_{нл} > 10$ %.

Согласно формуле (2) в ГЛИН возникает потребность стабилизации тока заряда. Для решения данной задачи в обычных условиях принято применять биполярные и полевые транзисторы. Рабочий участок данного транзистора должен соответствовать пологому участку вольт-амперной характеристики. Эффективность стабилизации тока зависит от дифференциального сопротивления стабилизирующего элемента. Для рассматриваемой электрической цепи дифференциальным сопротивлением является сопротивление заряда конденсатора $R_{с-заряда}$. В связи с этим эффективность стабилизации тока будет зависеть от дифференциального сопротивления $R_{с-заряда}$. С ростом $R_{с-заряда}$ будет расти эффективность стабилизации тока.

Для получения пилообразной формы выходных импульсов требуется конденсатор C , который необходимо заряжать в интервале от $+E_{П}$ до $U_{вых.мах}$. При этом постоянная времени $R_k C$ должна иметь максимально большое значение при закрытом транзисторе и максимально быстро уменьшаться при открытии транзистора.



В соответствии с вышесказанным рассмотрим простейший ГЛИН (рис. 2), который при формировании прямого хода представляет собой цепь интегрирования. Данную цепь можно математически описать с помощью формулы

$$\frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} = \frac{E_{\text{П}} - U_{\text{ВЫХ}}}{R_k C}. \quad (3)$$

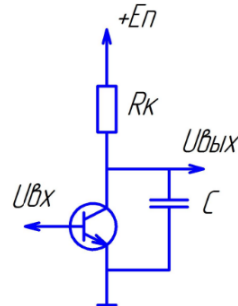


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная простейшего ГЛИН

При значениях выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ намного меньше значений питающего напряжения $E_{\text{П}}$, скорость роста выходного напряжения максимальна и стремится к постоянству. В то же время коэффициент нелинейности $K_{\text{НЛ}}$ будет стремиться к нулевому значению. Таким образом, эффективное использование данной схемы может происходить при малых значениях времени прямого хода $t_{\text{пр}}$ и коэффициента использования напряжения питания ϵ [2].

Реализуем принципиальную схему ГЛИН (рис. 3) с учетом вышеизложенных рекомендаций.

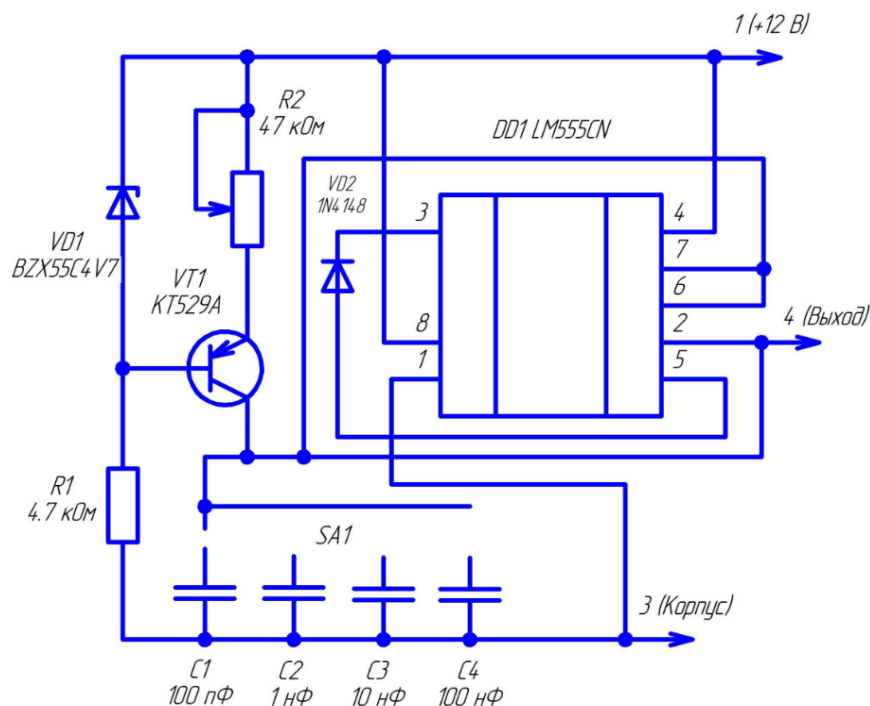


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная генератора линейно изменяющихся импульсов

Реализация данной электрической схемы предполагает использование транзистора, как и было показано ранее (рис. 2). В данном случае рассмотрен иной вариант схемотехнической реализации, в котором применяется микросхема интегрального таймера $LM555CN$.

В таком случае схема ГЛИН уже имеет в своем составе стабилизатор тока, что позволяет выполнить рекомендацию, исходящую из формулы (2). В схеме также присутствует каскад управления разрядом, образованный микросхемой $DD1$ и диодом $VD2$. Рассмотрим обозначения выходов таймера $LM555CN$ (табл. 1).



Таблица 1

Назначение выводов LM555CN

Название вывода	Номер вывода
Корпус (<i>Ground</i>)	1
Запуск (<i>Trigger</i>)	2
Выход (<i>Out</i>)	3
Сброс (<i>Reset</i>)	4
Контроль (<i>Control Voltage</i>)	5
Остановка (<i>Threshold</i>)	6
Разряд (<i>Discharge</i>)	7
+5В (<i>+Vcc</i>)	8

Присутствие диода $D2$ позволяет снизить напряжение на внутреннем делителе микросхемы $DD1$ практически до нуля при наличии на выходе $DD1$ импульсов низкого логического уровня.

Реализованная схема позволяет эффективно разряжать конденсатор $C1$. При разряде $C1$ до определенного минимального значения произойдет переключение микросхемы $DD1$ и начнется обратный процесс – заряд $C1$ от питающего напряжения. Вышеописанный алгоритм будет повторяться циклично.

Частота колебаний данного ГЛИН зависит от емкости конденсатора $C1$ и сопротивления резистора $R1$ в соответствии с формулой

$$f = \frac{0,4}{R1 \cdot C1} \quad (4)$$

При реализации данной электрической схемы на вышеуказанных электронных компонентах ($C1 = 100$ нФ и $R1 = 4,7$ кОм) частота выходного сигнала будет равняться приблизительно $0,8$ кГц. Величина тока, протекающего через $R1$, должна быть максимально малой. Данный ток может быть рассчитан по формуле

$$I = \frac{(U_{VD1} - U_{БЭ})}{R1} \quad (5)$$

где U_{VD1} – это напряжение стабилизации стабилитрона $VD1$, а $U_{БЭ}$ – прямое напряжение на переходе база – эмиттер транзистора $VT1$. Для получения качественной формы сигнала ток, протекающий через резистор $R1$, не должен быть более 20 мА [3].

Произведем моделирование схемы электрической принципиальной ГЛИН с помощью вспомогательной программы.

Результаты моделирования принципиальной электрической ГЛИН представлены ниже (рис. 4).

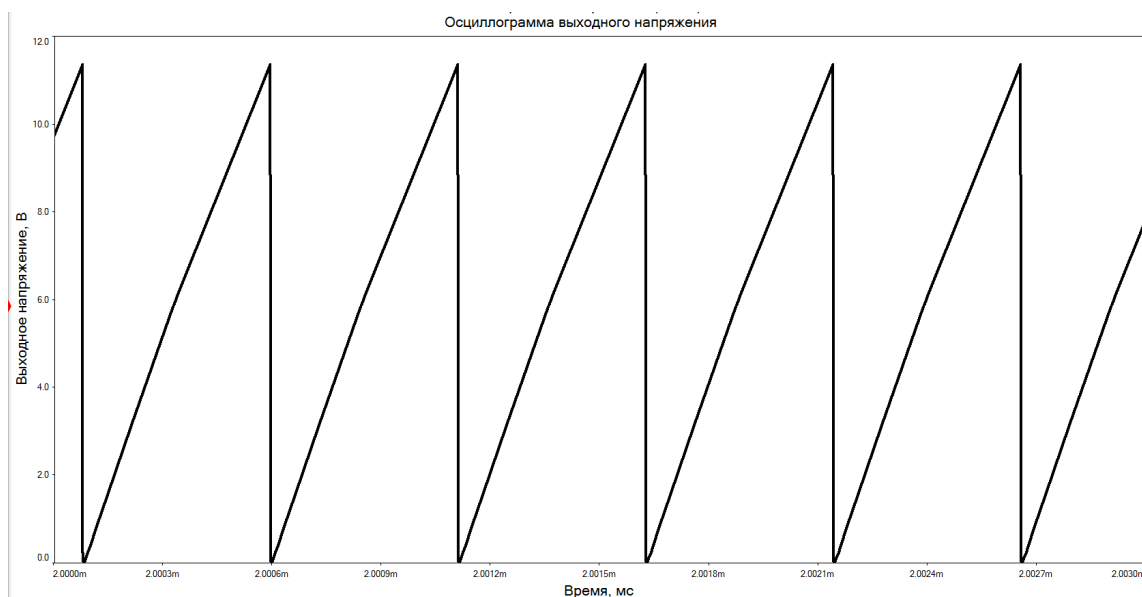


Рис. 4. Оциллограмма выходного напряжения генератора линейно изменяющегося напряжения



Список литературы

1. Чижма С. Н. Электроника и микросхемотехника. М. : Изд-во ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию», 2012. 359 с.
2. Важенина З. П. Импульсные генераторы на транзисторах. М. : Энергия, 2014. 128 с.
3. Гусько В. А., Войницкий М. В. Особенности устройства генераторов электрических сигналов // Актуальные проблемы энергетики : материалы 76-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Минск, БНТУ, 2020. С. 33–39.

References

1. Chizhma S.N. *Elektronika i mikroskhemotekhnika = Electronics and microcircuitry*. Moscow: Izd-vo FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu», 2012:359. (In Russ.)
2. Vazhenina Z.P. *Impul'snye generatory na tranzistorakh = Transistor pulse generators*. Moscow: Energiya, 2014:128. (In Russ.)
3. Gus'ko V.A., Voynitskiy M.V. Design characteristics of electrical signal generators. *Aktual'nye problemy energetiki : materialy 76-y nauch.-tekhn. konf. studentov i aspirantov = Actual problems of energy : materials of the 76th Scientific and Technical Conference of students and postgraduates*. Minsk, BNTU, 2020. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 25.05.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 27.06.2021

Принята к публикации / Accepted 08.07.2021