

В.В.РУДАКОВ, д-р техн. наук, зав. каф., НТУ «ХПИ»;
А.И.КОРОБКО, канд. техн. наук, зав. отд. НТУ «ХПИ»;
А.А.КОРОБКО, студент, НТУ «ХПИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УМНОЖИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ.

В статті наведені результати досліджень перехідних процесів у послідовному помножувачі напруги при синусоїдальному та імпульсному виді напруги. Результатами досліджень є оптимізація компонентів в послідовному помножувачі напруги.

Results of research of transients in the consecutive multiplier of pressure at sinusoidal and pulse pressure kinds are resulted in article. Optimization of components of the consecutive multiplier of pressure is result of researches.

Введение. Электростатические испытательные генераторы (ЭИГ), моделирующие воздействие на радиоэлектронную аппаратуру электромагнитных процессов, сопровождающих проявления статического электричества, обязательно имеют в своем составе источник питания – высоковольтное устройство, которое предназначено для зарядки накопительного конденсатора [1].

Согласно требованиям [1, 2] источники питания ЭИГ должен обеспечивать заряд накопительного конденсатора, до напряжения 30 кВ отрицательной и положительной полярности за время не более (0.6...0.7) с.

Данная величина определяется требованиями по частоте следования импульсов испытательного напряжения (1 Гц), заданной в [1].

Кроме этого, ЭИГ конструктивно должен быть выполнен в портативном виде с автономным внутренним питанием для обеспечения максимальной адекватности моделирования натуральных электромагнитных и электродинамических процессов, сопровождающих моделируемые электростатические явления.

Как правило, высоковольтный источник питания ЭИГ строится по схеме: первичный источник питания – высоковольтный преобразователь – умножитель напряжения. В качестве первичных источников питания применяются, как правило, стандартные или кислотные герметичные аккумуляторы с напряжением (6...24) В, емкость которых определяется необходимым ресурсом работы ЭИГ от одной зарядки (как правило 8 час. непрерывной работы).

Следовательно, для минимизации размеров ЭИГ остаются путь минимизировать размеры высоковольтного преобразователя и умножителя напряжения.

Принципиально высоковольтные преобразователи могут быть двух ти-

пов: с симметричным и несимметричным видом выходного напряжения [3].

Преобразователи первого типа генерируют на входе умножителя напряжения напряжение, симметричное относительно оси времени (меандр, синусоида, ШИМ – меандр и др.), преобразователи второго типа могут быть прямоходовыми или обратногоходовыми [3, 4].

Учитывая малые абсолютные значения требуемой выходной мощности высоковольтных источников питания ЭИГ (измеряемой, как правило, величиной до 10 Вт), в качестве умножителя напряжения наиболее целесообразно применить умножитель напряжения последовательного типа [3, 4].

В [3, 4] достаточно детально исследовались характеристики последовательного умножителя напряжения при работе его в стационарном режиме, что является явно недостаточным для оптимизации его параметров с учетом нестационарности процесса заряда накопительного конденсатора ЭИГ.

Целью данной работы является исследования нестационарных процессов в последовательном умножителе напряжения при воздействии на его вход симметричного и несимметричного видов напряжения.

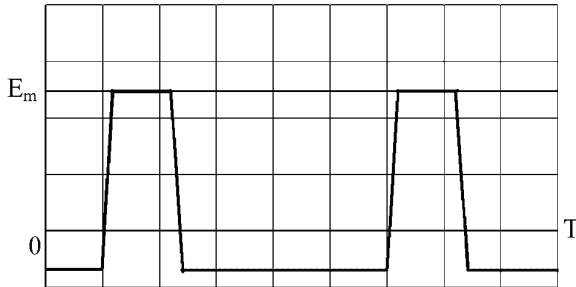


Рисунок 1 – Входное напряжение несимметричного вида

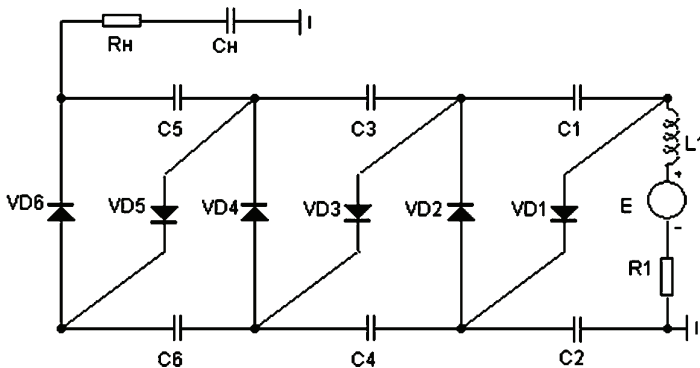


Рисунок 2 – Схема последовательного умножителя напряжения

В качестве симметричного вида напряжения была выбрана синусоидальная форма напряжения, в качестве несимметричного – типовая форма напряжения, генерируется обратноходовым высоковольтным преобразователем, представленная на рис. 1.

Анализируемая схема последовательного умножителя напряжения совместно с источником и нагрузкой представлена на рис. 2.

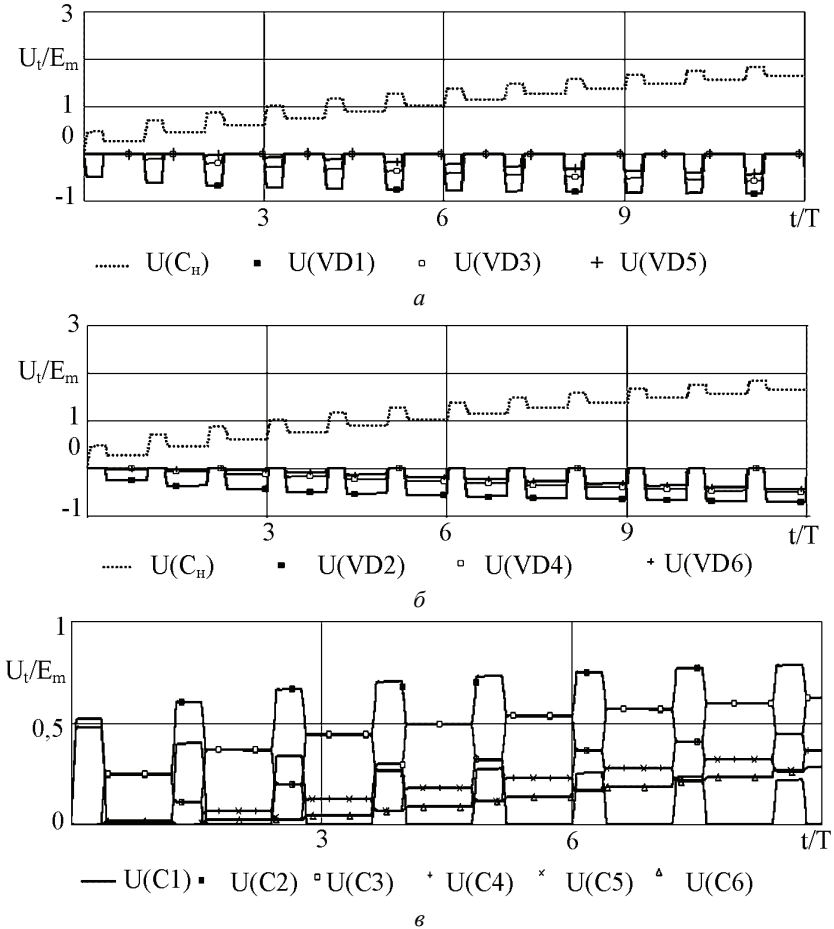


Рисунок 3 – Напряжения на элементах схемы при несимметричном виде источника E :
a, *б* – напряжения на диодах; *в* – напряжения на конденсаторах

В данной схеме: элементы E , $L1$, $R1$ – параметры источника высокого напряжения ($L1$ и $R1$ – приведенные ко вторичной стороне индуктивность источника высокого напряжения, сопротивление потерь соответственно; E –

идеальный источник Э.Д.С. симметричного или несимметричного типов); Элементы VD1...VD6 и C1...C6 – собственно элементы последовательного умножителя напряжения; C_н – накопительный конденсатор ЭИГ, R_н – ограничительный резистор.

В силу крайней сложности теоретического анализа нестационарных процессов в нелинейных цепях, каковой является приведенная схема, был использован метод цифрового моделирования нестационарных процессов в нелинейных схемах с помощью компьютерной среды моделирования «MicroCap 8.1.0».

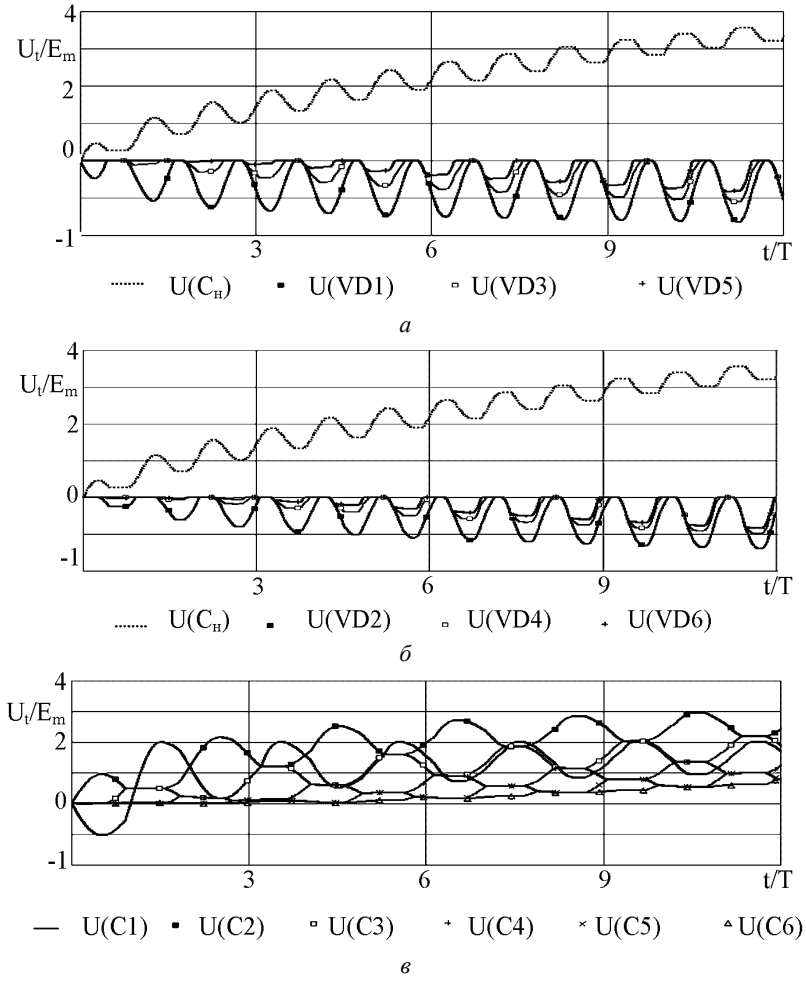


Рисунок 4 – Напряжения на элементах схемы при симметричном виде источника E: а, б – напряжения на диодах; в – напряжения на конденсаторах

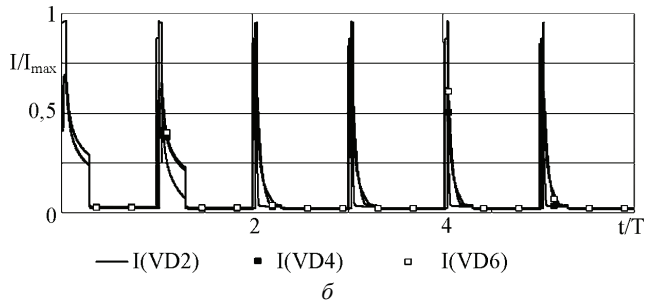
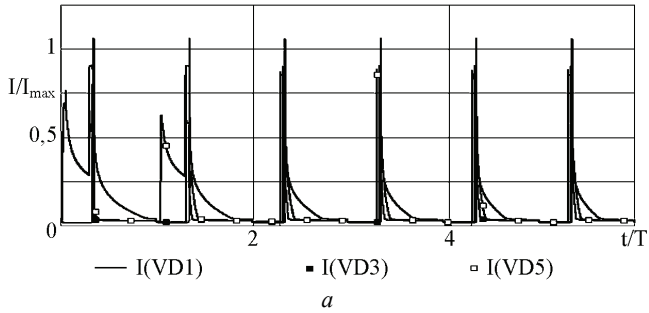


Рисунок 5 – Токи через диоды при несимметричной виде источника E:
a – токи через диоды VD1,VD3,VD5; *b* – токи через диоды VD2,VD4,VD6

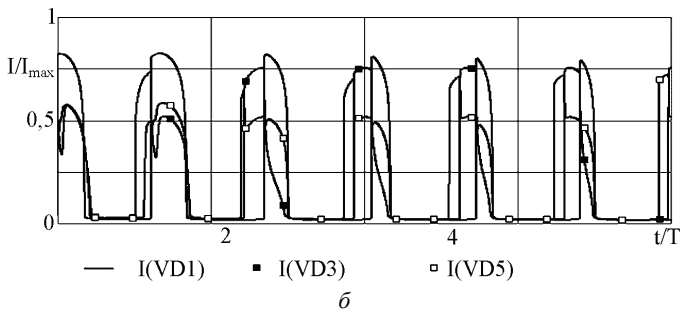
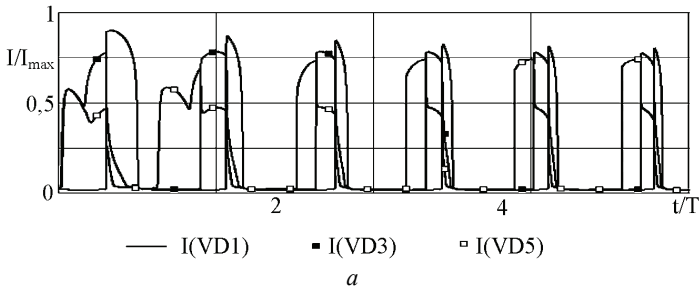


Рисунок 6 – Токи через диоды при симметричной виде источника E:
a – токи через диоды VD1,VD3,VD5; *b* – токи через диоды VD2,VD4,VD6

Типовые результаты моделирования (напряжения и токи на элементах схемы) представлены на рис. 3-6. Данные результаты получены для следующих значений элементов схемы: $L = 2,4 \cdot 10^{-3}$ Гн; $R1 = 230$ Ом; $E_m = 10$ кВ; $C1 \dots C6 = 2,2 \cdot 10^{-9}$ Ф; $R_n = 10^6$ Ом; $C_n = 0,2 \cdot 10^{-9}$ Ф.

При этом, производилась нормировка напряжений на элементах и токов относительно величин E_m и $E_m/R1$, соответственно, а временная шкала нормировалась относительно периода следования импульсов T .

Выводы. Из анализа полученных результатов следует:

- 1 Как и для симметричного, так и для несимметричного видов источника E в процессе зарядки конденсатора C_n максимальная величин импульсного напряжения, действующего на элементы умножителя, характерна для первого диода $VD1$, где протекает наибольший импульсный ток.
 - 2 Напряжения на диодах $VD1 \dots VD6$ имеют тенденцию, выравнивания спустя 9 – 12 периодов при воздействии напряжения симметричного и несимметричного типов, что согласуется с данными [3,4] для стационарного режима работы последовательного умножителя напряжения.
 - 3 Как и для стационарного режима работы, описанного в [3,4], использование симметричного вида напряжения источника E дает выигрыш в величине выходного напряжения умножителя, работающего в нестационарном режиме, приблизительно в 2 раза по величине выходного напряжения умножителя, что позволяет, в принципе, соответственно уменьшить требуемое напряжение высоковольтного трансформатора.
 - 4 Время достижения необходимой величины напряжения на нагрузке (конденсатор C_n) меньше для симметричного вида напряжения источника E .
 - 5 Положительные моменты использования симметричного вида напряжения источника E могут при этом полностью или частично компенсироваться увеличенным числом витков высоковольтного трансформатора и, как следствие, увеличением его массогабаритных характеристик по сравнению со случаем использования несимметричного вида напряжения.
 - 6 Принимая во внимание вышеизложенное, можно рекомендовать следующие основные принципы построения умножителя напряжения последовательного типа с минимальными габаритами для ЭИГ:
 - использование нестационарного режима работы;
 - использование несимметричного вида напряжения источника E ;
- первый диод $VD1$ и конденсатор $C2$ должны иметь максимальные величины рабочих напряжений по сравнению с остальными элементами умножителя.

- практическая реализация предыдущего пункта может заключаться в использовании последовательного соединенных диодов и конденсаторов.

Список литературы: 1. Стандарт США MIL-STD-464A. 2. Стандарт США MIL-STD-331C. 3. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники – 5-е изд., перераб. – М.: Мир, 1998. – 704 с. 4. *Бржезицкий В.О., Исакова А. В., Рудаков В.В. и др.* Техника и электрофизика высоких напряжений: уч. пособ. / Под ред. *В.О. Бржезицкого* и *В.М. Михайлова.* – Харьков: НТУ «ХПИ» - Торнадо, 2005. – 930 с.

Поступила в редколлегию 04.10.2010