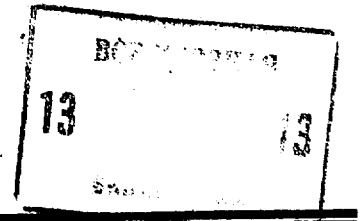




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3514364/24-07
(22) 24.11.82
(46) 07.05.84. Бюл. № 17
(72) В.В.Попов и В.Э.Пацевич
(71) Минский радиотехнический институт
(53) 621.314.58(088.8)
(56) 1. Патент США № 4158881,
кл. Н 02 М 3/335, 1977.
2. Авторское свидетельство СССР
№ 577630, кл. Н 02 М 7/537, 1976.
3. Патент США № 4270163,
кл. Н 02 М 7/537, 1979.

(54) (57) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, содержащий $2n$ рекуперированных диодов и два плеча из n последовательно соединенных транзисторов, базы которых подключены к формирователю импульсов управления, входом подключенному к модулятору импульсов, состоящему из генератора прямоугольных импульсов, выход которого подключен к генератору пилообразного напряжения и одному из входов первого логического элемента И непосредственно, а к одному из входов второго логического элемента И через элемент НЕ, при этом вторые входы логических элементов И объединены и подключены к выходу компаратора, первым входом соединенного с генератором пилообразного напряжения, а вторым - с эта-

лонным источником измеряемого напряжения, отличающийся тем, что, с целью повышения КПД, введены $2n$ дросселя и последовательный резонансный LC-контур, подключенный к точке соединения плеч транзисторов, при этом коллектор первого транзистора верхнего плеча и эмиттер первого транзистора нижнего плеча от точки соединения плеч через последовательную цепь из дросселя и рекуперированного диода, включенного в направлении протекания входного тока, подключены к общему выводу преобразователя, коллекторы последующих транзисторов верхнего плеча и эмиттеры нижнего плеча, кроме последних, подсоединены через указанные цепочки к отводам от источника электропитания положительной полярности для верхнего плеча и отрицательной полярности для нижнего плеча, а коллекторы и эмиттеры последних транзисторов в плечах соединены с соответствующими источниками электропитания непосредственно через дроссель, при этом генератор прямоугольных импульсов модулятора выполнен по схеме с автоподстройкой частоты и его управляющий вход подключен к выходу датчика тока, соединенного последовательно с нагрузкой, которые подключены параллельно конденсатору LC-контура.

Изобретение относится к преобразовательной технике и может быть использовано в регулируемых преобразователях напряжения и тока, в частности высоковольтных преобразователях напряжения.

Известно устройство, содержащее емкостный делитель, полумостовой преобразователь напряжения, два регулируемых диода, трансформатор, выпрямитель и фильтр [1].

Недостатком данного устройства является пониженный КПД из-за наличия динамических потерь при переключении трансформаторов полумостового преобразователя напряжения.

Известное также устройство, содержащее цепочку из четырех согласованно-последовательно соединенных транзисторов, четырех диодов, трансформатора и нагрузки [2].

Недостаток указанного устройства обусловлен пониженным КПД из-за наличия динамических потерь при переключении транзисторов.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является преобразователь напряжения, содержащий $2n$ рекуперированных диодов и два плеча из n последовательно соединенных транзисторов, базы которых подключены к формирователю импульсов управления, входом подключенному к модулятору импульсов, состоящему из генератора прямоугольных импульсов, выход которого подключен к генератору пилообразного напряжения и одному из входов первого логического элемента И непосредственно, а к одному из входов второго логического элемента И через элемент НЕ, при этом вторые входы логических элементов И объединены и подключены к выходу компаратора, первым входом соединенного с генератором пилообразного напряжения, а вторым - с эталонным источником измеряемого напряжения [3].

Однако известный преобразователь также характеризуется низким КПД, так как транзисторы включаются и выключаются при протекании через них тока.

Цель изобретения - повышение КПД преобразователя путем снижения динамических потерь в транзисторах при переключении.

Поставленная цель достигается тем, что в преобразователь напряжения, содержащий $2n$ рекуперированных

диодов и два плеча из n последовательно соединенных транзисторов, базы которых подключены к формирователю импульсов управления, входом подключенному к модулятору импульсов, состоящему из генератора прямоугольных импульсов, выход которого подключен к генератору пилообразного напряжения и одному из входов первого логического элемента И непосредственно, а к одному из входов второго логического элемента И через элемент НЕ, при этом вторые входы логических элементов И объединены и подключены к выходу компаратора, первым входом соединенного с генератором пилообразного напряжения, а вторым - с эталонным источником измеряемого напряжения, введены $2n$ дросселя и последовательный резонансный LC-контур, подключенный к точке соединения плеч транзисторов, при этом коллектор первого транзистора верхнего плеча и эмиттер первого транзистора нижнего плеча от точки соединения плеч через последовательную цепь из дросселя и рекуперированного диода, включенного в направлении протекания входного тока, подключены к общему выводу преобразователя, коллекторы последующих транзисторов верхнего плеча и эмиттеры нижнего плеча, кроме последних, подсоединены через указанные цепочки к отводам от источника электропитания положительной полярности для верхнего плеча и отрицательной полярности для нижнего плеча, а коллекторы и эмиттеры последних транзисторов в плечах соединены с соответствующими источниками электропитания непосредственно через дроссель, при этом генератор прямоугольных импульсов модулятора выполнен по схеме с автоподстройкой частоты и его управляющий вход подключен к выходу датчика тока, соединенного последовательно с нагрузкой, которые подключены параллельно конденсатору LC-контура.

На фиг.1 приведена схема преобразователя напряжения; на фиг.2 - схема блока управления; на фиг.3 и 4 - диаграммы работы преобразователя напряжения.

Преобразователь напряжения состоит из $2n$ согласованно-последовательно соединенных транзисторов $1-1 - 1-n$, $2-1 - 2-n$, рекуперированных диодов $3-1 - 3-n$, $4-1 - 4-n$, $2n$ индуктив-

ностей 5-1 - 5-n, 6-1 - 6-n, последовательного резонансного LC-контура 7, нагрузки 8, 2n стабилитронов 9-1 - 9-n, 10-1 - 10-n, блока 11 управления и датчика 12 тока. При этом эмиттер транзистора 1-1 соединен с коллектором транзистора 2-1 и входом последовательного резонансного LC-контура 7, параллельно конденсатору которого подключены последовательно соединенные датчик 12 тока и нагрузка 8. Катод диода 3-1 соединен с одним концом индуктивности 5-1, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 1-1 и эмиттера транзистора 1-2, а анод диода 3-1 соединен с общей точкой источника питания, причем параллельно индуктивности 5-1 подсоединен стабилитрон, катод которого соединен с катодом диода 3-1. Катод диода 3-2 соединен с одним концом индуктивности 5-2, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 1-2 и эмиттера транзистора 1-3, а анод диода 3-2 соединен с положительной клеммой источника питания $+E_1$, причем параллельно индуктивности 5-2 подсоединен стабилитрон, катод которого соединен с катодом диода 3-2. Катод диода 3-n соединен с одним концом индуктивности 5-n-1, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 1-n-1 и эмиттера транзистора 1-n, а анод диода 3-n соединен с положительной клеммой источника питания $+E_{n-1}$, причем параллельно индуктивности 5-n-1 подсоединен стабилитрон 9-n-1, катод которого соединен с катодом диода 3-n, а коллектор транзистора 1-n соединен с одним концом индуктивности 5-n, второй конец которой соединен с положительной клеммой источника питания $+E_n$. Параллельно индуктивности 5-n подсоединен стабилитрон 9-n, катод которого соединен с положительной клеммой источника питания $+E_n$. Анод диода 4-1 соединен с одним концом индуктивности 6-1, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 2-2 и эмиттера транзистора 2-1, а катод диода 4-1 соединен с общей точкой источника питания, причем параллельно индуктивности 6-1 подсоединен стабилитрон 10-1, анод которого соединен с анодом диода 4-1. Анод диода

да 4-2 соединен с одним концом индуктивности 6-2, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 2-3 и эмиттера транзистора 2-2, а катод диода 4-2 соединен с отрицательной клеммой источника питания $-E_2$, причем параллельно индуктивности 6-2 подсоединен стабилитрон 10-2, анод которого соединен с анодом диода 4-2. Анод диода 4-2 соединен с одним концом индуктивности 6-n-1, второй конец которой соединен с точкой соединения коллектора транзистора 2-n и эмиттера транзистора 2-n-1, а катод диода 4-n соединен с отрицательной клеммой источника питания $-E_{n-1}$, причем параллельно индуктивности 6-n-1 подсоединен стабилитрон 10-n-1, анод которого соединен с анодом диода 4-n, эмиттер транзистора 2-n соединен с одним концом индуктивности 6-n, второй конец которой соединен с отрицательной клеммой источника питания $-E_n$, причем параллельно индуктивности 6-n подсоединен стабилитрон 10-n, анод которого соединен с отрицательной клеммой источника питания $-E_n$, причем выходы управления соединены с базами транзисторов.

Блок 11 управления состоит из модулятора 13 и формирователя 14 импульсов, причем модулятор 13 состоит из источника 15 эталонного напряжения, суммирующего усилителя 16, компаратора 17, генератора 18 пилообразного напряжения, генератора 19 прямоугольных импульсов с автоподстройкой частоты, логической схемы И-НЕ 20, а также первой 21 и второй 22 логических схем И. При этом выход источника 15 эталонного напряжения соединен с суммирующим входом суммирующего усилителя 16, вычитающий вход которого соединен с регулирующим напряжением, выход суммирующего усилителя 16 соединен с первым входом компаратора 17, второй вход которого соединен с выходом генератора 18 пилообразного напряжения, вход которого соединен с выходом генератора 19 прямоугольных импульсов с автоподстройкой частоты, входом логической схемы И-НЕ 20 и вторым входом первой логической схемы И 21. Выход компаратора 17 соединен с первыми входами первой 21 и второй 22

логических схем И, а второй вход логической схемы И 22 соединен с выходом логической схемы И-НЕ 20, причем выходы логических схем И 21 и 22 соединены с входом формирователя 14 импульсов, а вход генератора 19 прямоугольных импульсов с автоподстройкой частоты, соединен с выходом датчика 12 тока.

Модулятор работает следующим образом.

Генератор 19 прямоугольных импульсов с автоподстройкой частоты (далее генератор прямоугольных импульсов) вырабатывает импульсы, поступающие на вход генератора 18 пилообразного напряжения. Автоподстройка частоты генератора 19 прямоугольных импульсов предназначена для подстройки частоты генератора под частоту последовательного резонансного LC-контура 7. Генератор 18 пилообразного напряжения вырабатывает импульсы пилообразной формы (фиг.3б) каждые полпериода колебаний, поступающих с генератора 18 прямоугольных импульсов (фиг.3а). Выход генератора 18 пилообразного напряжения соединен с одним входом компаратора 17, на второй вход которого поступает напряжение эталонного источника измеряемого напряжения с выхода суммирующего усилителя 16. На суммирующий вход суммирующего усилителя 16 поступает постоянное положительное напряжение с выхода источника 15 эталонного напряжения, а на вычитающий вход - регулирующее напряжение, величина которого изменяется от нуля до эталонного напряжения. Величина эталонного напряжения выбирается равной максимальной амплитуде размаха пилообразного напряжения. Изменяя величину входного напряжения, можно изменять величину выходного напряжения на нагрузке 8, при этом обеспечивается прямая пропорциональная зависимость между входным напряжением и напряжением на нагрузке 8.

На выходе суммирующего усилителя 16 образуется напряжение, равное разности эталонного и входного напряжений, которое поступает на первый вход компаратора 17, на второй вход которого поступает напряжение с выхода генератора 18 пилообразного напряжения. При достижении пилообраз-

ным напряжением уровня напряжения на выходе суммирующего усилителя 16 (фиг.3б) на выходе компаратора 17 формируется передний фронт импульса (фиг.3в), включающего силовые транзисторы, фронт выключения формируется фронтом импульса генератора 19 прямоугольных импульсов. Сформированный таким образом импульс поступает на вход логических схем И 21 и 22, которые обеспечивают очередное открывание последовательно соединенных транзисторов, подсоединенных к источнику питания $+E_n$ или к источнику питания $-E_n$. Диаграммы работы модулятора 13 и напряжения на выходе логических элементов И 20 и 21 приведены на фиг.3. Импульсы, сформированные модулятором 13, поступают на вход формирователя 14 импульсов, который создает импульсы управления, необходимые для правильной работы силовых транзисторов 1-1 - 1-n, 2-1 - 2-n. Для этого все транзисторы, начиная с первого и до n-го включаются с задержкой и выключаются с той же задержкой τ_3 (фиг.4), что обеспечивает постоянным напряжением на закрытых транзисторах, равное E_n/n , где n - число транзисторов. Таким образом, каждый последующий включающий транзистор включается позже на время τ_3 по сравнению с предыдущим, а каждый последующий выключающийся транзистор выключается на время τ_3 позже предыдущего.

На вход генератора 19 прямоугольных импульсов поступает сигнал с датчика 12 тока, который включен последовательно с нагрузкой 8. Этот сигнал заставляет частоту генератора 19 прямоугольных импульсов изменяться так, чтобы ток нагрузки 8 в момент выключения силового транзистора 1-2 или 2-2 был равен нулю, т.е. осуществляется автоподстройка частоты с точностью до фазы.

Рассмотрим работу преобразователя с четырьмя последовательно соединенными транзисторами, в случае, когда число источников питания равно двум ($+E_1$ и $-E_1$), а $n=1$.

Пилообразное напряжение сравнивается компаратором с напряжением на выходе суммирующего усилителя 16 (фиг.3г), и при их совпадении образуется фронт импульса, который по-

стует на первые входы логических схем И 21 и 22 и в зависимости от напряжения на вторых входах этих логических схем через формирователь 14 импульсов включает транзистор 1-2, 5 соединенный с положительным источником питания $+E_1$, либо транзистор 2-2, соединенный с отрицательным источником питания $-E_1$. Предположим, что включился транзистор 1-2 и одновременно выключился транзистор 2-1 (при этом транзистор 1-1 открыт, а транзистор 2-2 закрыт). Спад импульса управления формируется фронтом импульса с генератора 19 прямоугольных импульсов. На входе резонансного LC-контура появляется импульс положительной полярности. В следующем такте открывается транзистор 2-2 и одновременно закрывается транзистор 1-1 (при этом транзистор 2-1 открыт, а транзистор 1-2 закрыт) и формируется импульс отрицательной полярности. Последовательность положительных и отрицательных импульсов (фиг. 3) поступает на вход последовательного резонансного LC-контура 7, который выделяет первую гармонику сигнала (фиг. 3д).

Генератор 19 прямоугольных импульсов изменяет частоту таким образом, чтобы первая гармоника отставала от частоты прямоугольных импульсов, т.е. автоподстройка частоты вносит фазовый сдвиг, который заставляет в установившемся режиме иметь выключение транзисторов 1-2 и 2-2 в момент равенства нулю тока через нагрузку 8. При этом потери при выключении силовых транзисторов 1-2 и 2-2 близки к нулю. Введение дополнительных индуктивностей 5-1 -5_n , 6-1 -6_n , установленных последовательно в цепи источников питания $+E_1$ $-+E_n$, $-E_1$ $-(E_n)$ позволяет снизить потери при включении транзисторов. Параллельно каждой индуктивности подключены соответственно стабилизаторы 9-1 -9_n , 10-1 -10_n , необходимые в первый момент работы преобразователя напряжения для ограничения напряжения экстрозДС, развиваемой на индуктивности при неточной установке фазы и частоты генератора 19 прямоугольных импульсов. В

установившемся режиме надобность в стабилизаторе отпадает. В момент включения транзистора 1-2 или 2-2 все напряжение будет приложено к индуктивности 5-2 или 6-2, а ее сопротивление будет равно

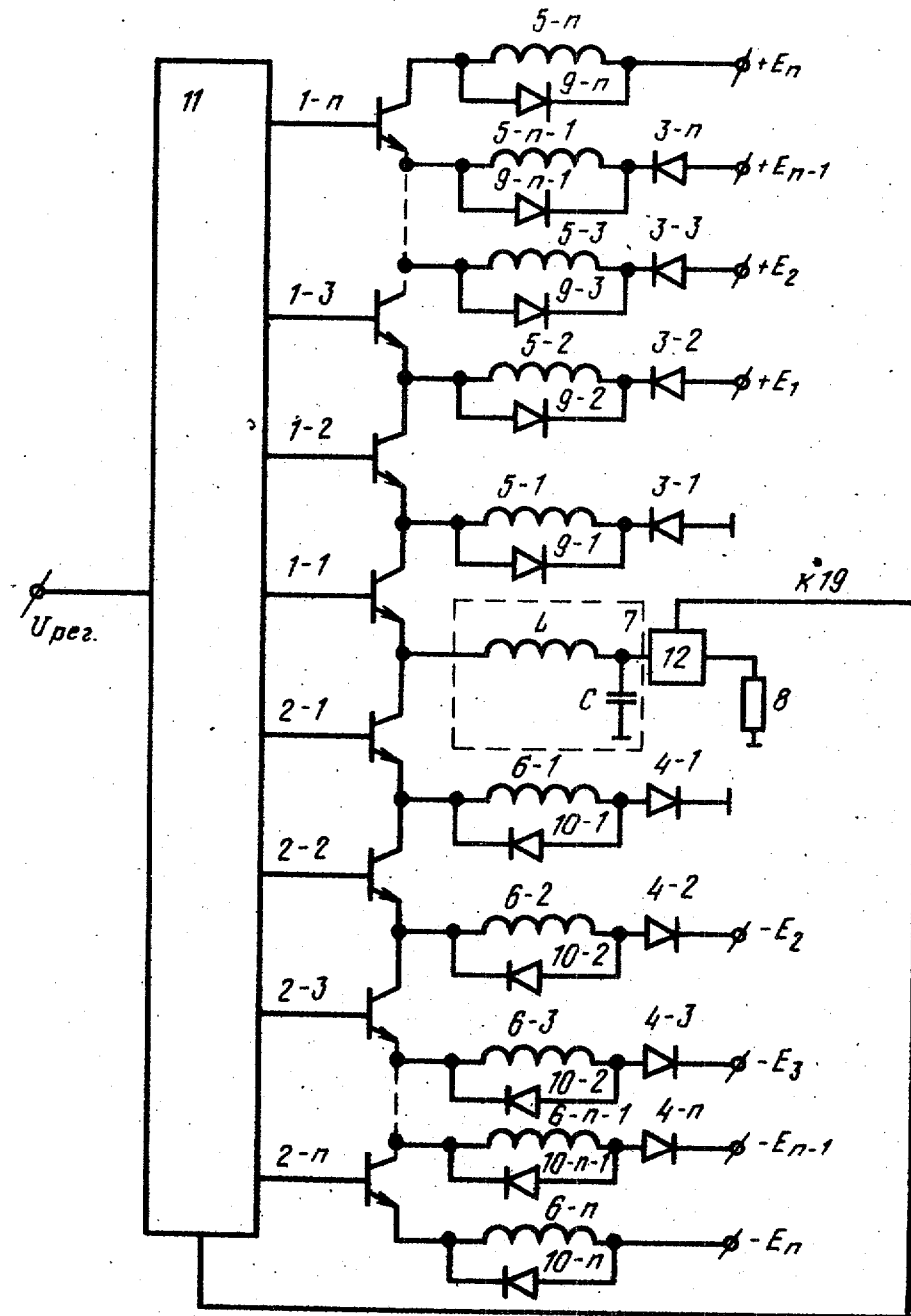
$$\frac{r_L e^{-\frac{r_L}{L} t}}{1 - e^{-\frac{r_L}{L} t}}$$

В реальных случаях это составляет десятки и сотни килоом, и, следовательно, напряжение на транзисторе в момент его включения будет близким к нулю, а потери при включении минимальными.

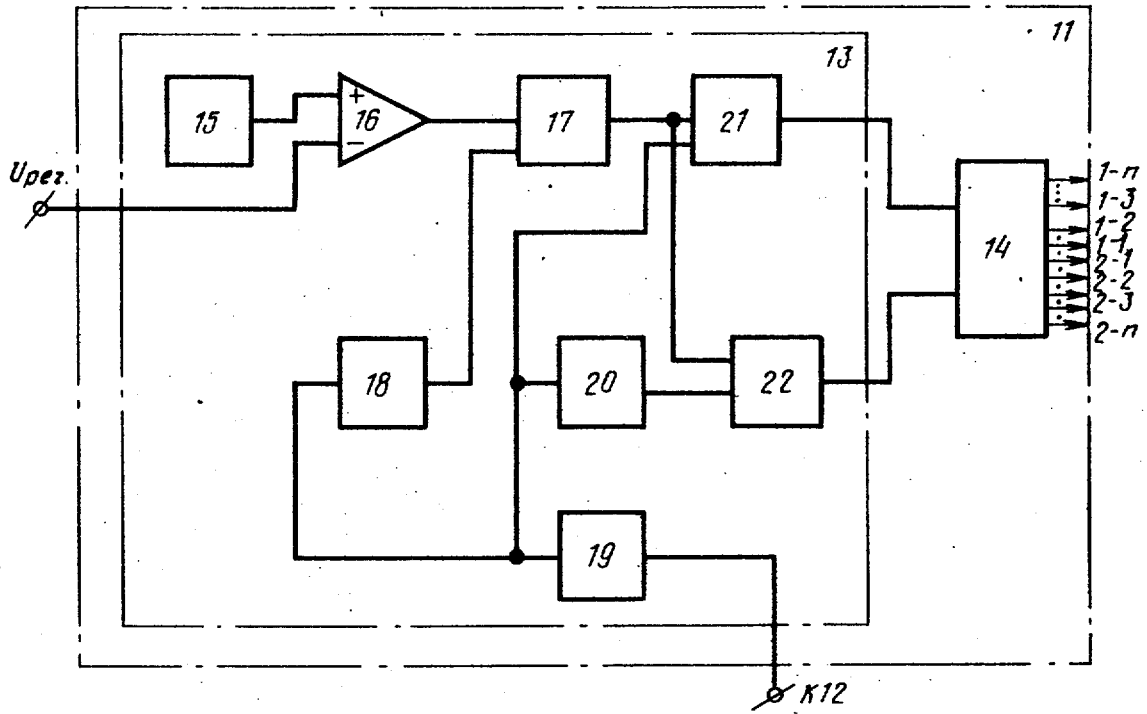
Выбор величины индуктивности производится в учет крутизны фронта. В реальных транзисторах крутизна фронта составляет примерно 1 мкс. Приняв величину скорости изменения тока $di/dt = 10$ А/мкс, а напряжение источников питания $2E_1$ и $+E_1$ равным 100 В, и с учетом того, что $\frac{di}{dt} L = U$, определим величину индуктивностей 5-н, 6-н, которая будет равна $L = 10$ мкГн.

При выключении транзистора индуктивность постарается поддержать ток через транзистор, т.е. поднять напряжение, но так как скорость изменения тока di/dt через индуктивность при наличии последовательного резонансного LC-контура 7 будет примерно в 20 раз меньше, то и напряжение на выключенном транзисторе увеличится всего лишь на 1/20 часть от исходного. При отсутствии последовательного резонансного LC-контура напряжение на закрытом транзисторе возросло бы по меньшей мере в два раза, что привело бы к увеличению потерь и компенсации выигрыша при включении за счет введения индуктивности.

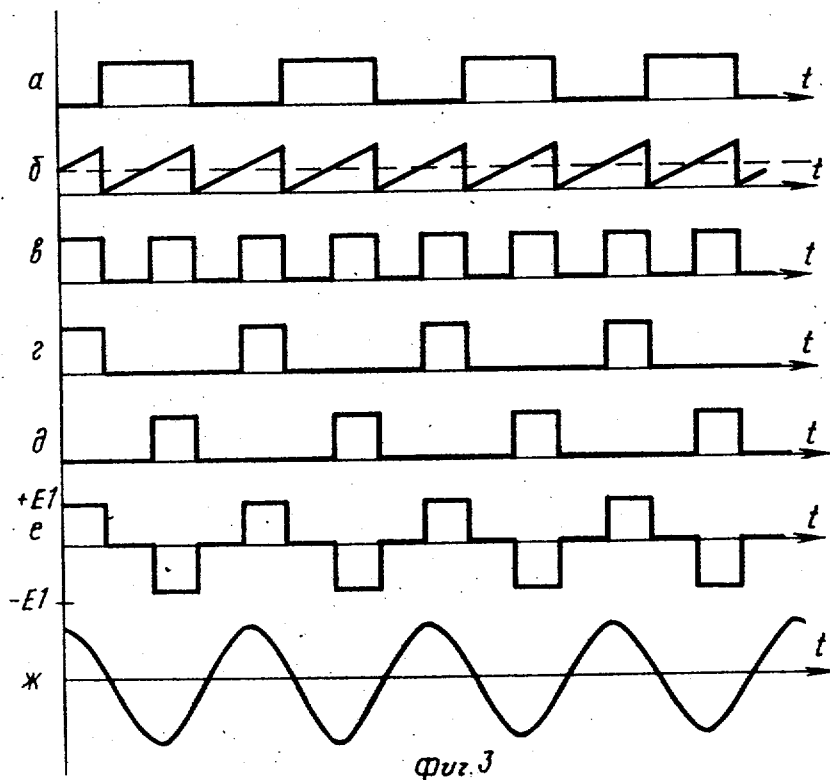
Таким образом, введение индуктивностей и последовательного резонансного LC-контура приводит к снижению потерь при выключении и включении силовых транзисторов и тем самым повышает КПД преобразователя напряжения.



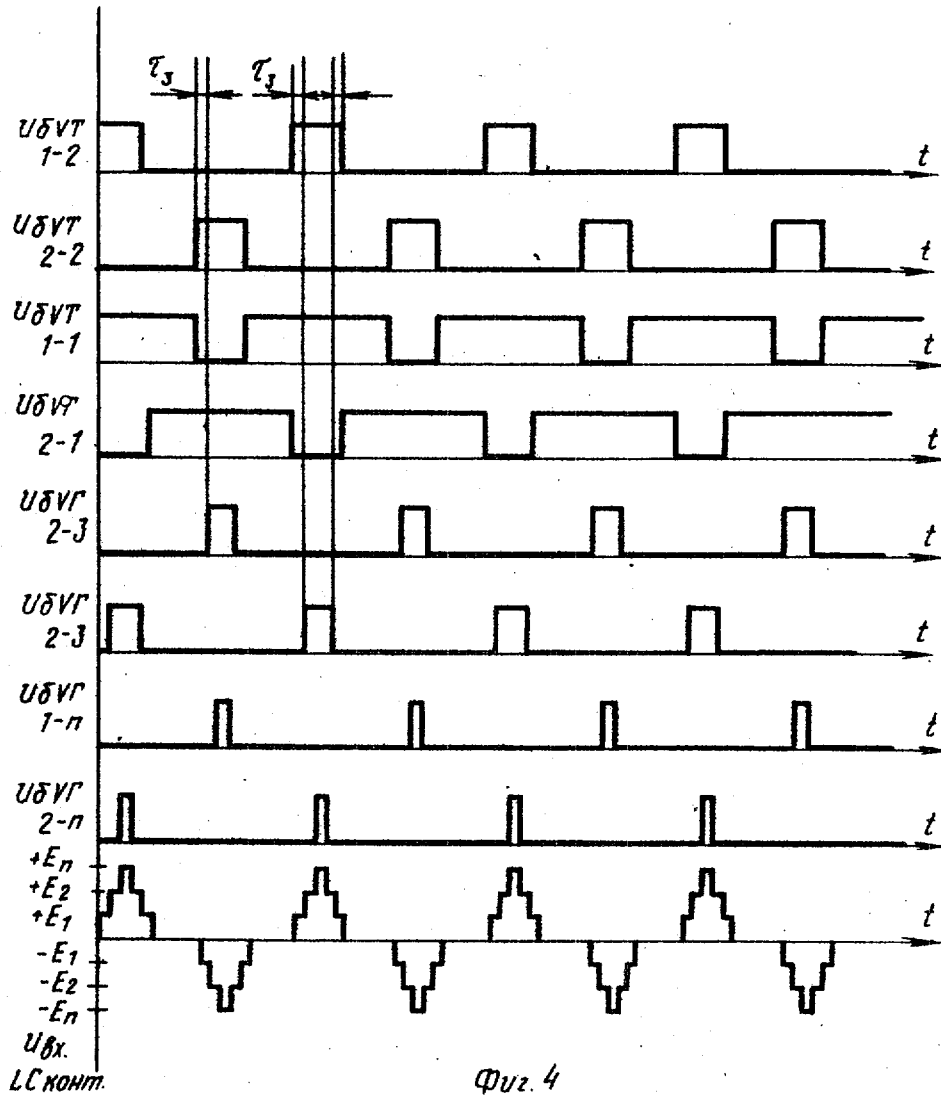
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Составитель И. Никитин

Редактор А. Огар

Техред И. Метелева

Корректор С. Шекмар

Заказ 3096/52

Тираж 667

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4