

Предлагаемый резонансный источник напряжения постоянного тока относится к области электротехники и может быть использован в различных системах электропитания радиоаппаратуры, вычислительной техники, средств связи, а также в аппаратуре, работающей в условиях близких к режиму короткого замыкания.

Наиболее близким техническим решением к заявляемому является резонансный сетевой источник вторичного электропитания, содержащий последовательный инвертор, резонансный контур которого состоит из конденсаторов емкостного делителя и дросселя, включенного последовательно с первичной обмоткой силового трансформатора. Источник питания по входу имеет помехоподавляющий фильтр, выпрямитель и емкостной фильтр, а по выходу - выпрямитель, сглаживающий и помехоподавляющие фильтры. Для управления инвертором и регулирования выходными параметрами источник питания содержит устройство управления.

Недостатками указанного резонансного источника питания является то, что предельная выходная мощность инвертора

$$P_{\text{вых max}} = 2U_{\text{dmax}} C_k \cdot f_{\text{umax}} \quad (1)$$

где f_{umax} - максимальная частота инвертора;

C_k - контурная емкость;

U_{dmax} - выпрямленное напряжение сети,

ограничена частотой инвертора, которая равна половине резонансной частоты контура, а минимально возможная контурная индуктивность, равная индуктивности рассеяния трансформатора, возрастает с увеличением мощности инвертора. Наряду с этим, собственная частота и волновое сопротивление силового трансформатора, обусловленные его конструктивным исполнением, ограничивают собственную частоту резонансного контура. Наличие в резонансном контуре дополнительного реактивного элемента, которым является дроссель, также ограничивает увеличение частоты. Наличие внешнего задающего генератора, усилителей мощности, отсутствие пропорционального токового управления и защиты от коммутационных перегрузок силовых ключей существенно дополняют затраты на управление и регулирование выходными параметрами указанного источника питания.

Задачей предлагаемого изобретения является расширение диапазона рабочих частот, уменьшение энергетических затрат на управление и регулирование выходными параметрами за счет увеличения собственной частоты силового трансформатора и амплитудно-частотного регулирования на основе управляемого дросселя.

Поставленная задача решается тем, что в резонансный источник напряжения постоянного тока, содержащий помехоподавляющий фильтр, входной и выходной выпрямители, управляющий стабилизатор тока и емкостной фильтр, подключенный к силовым входам полумостового инвертора и выводам входного выпрямителя, согласно изобретению, введен дополнительный выпрямитель, а полумостовой инвертор состоит из двух силовых ключей, каждый из которых содержит ограничитель базового тока и вторичную обмотку управляющего трансформатора, двух рассеивающих диодов и последовательного резонансного контура, состоящего из конденсаторов емкостного делителя, силового трансформатора с первичной и вторичной обмотками и управляемого дросселя, содержащий обмотку управления, рабочую обмотку и две дополнительные обмотки, причем вторичная обмотка силового трансформатора последовательно соединена с рабочей обмоткой управляемого дросселя и через выходной выпрямитель подключена к выходу резонансного источника, а его первичная обмотка одним выводом подключена к общей точке подключения конденсаторов емкостного делителя, а вторым выводом к общей точке подключения силовых ключей. Управляющая обмотка управляемого дросселя одним выводом подключена к отрицательному выходу источника питания, а вторым - к общему выходу управляющего стабилизатора тока, питающие входы которого подключены к первой дополнительной обмотке дросселя. Вторая дополнительная обмотка дросселя через дополнительный выпрямитель подключена к положительному выходу источника питания и к управляемому входу стабилизатора тока.

Силовой трансформатор, входящий в состав последовательного резонансного контура, выполнен на замкнутом Ш-образном ферритовом сердечнике, причем его первичная обмотка расположена на среднем керне, а вторичная обмотка состоит из двух одинаковых по количеству витков секций, каждая из которых расположена на внешнем керне, наматываются встречно, а по выходу включаются параллельно.

Полумостовой инвертор содержит последовательный резонансный контур, состоящий из конденсатора и первичной обмотки управляющего трансформатора, при этом его конденсатор одним выводом подключен к общей точке подключения емкостного делителя инвертора, а вторым - с первым выводом первичной обмотки управляющего трансформатора и общей точкой подключения рассеивающих диодов, вторые выводы которых подключаются к силовым входам инвертора. Второй вывод первичной обмотки этого трансформатора подключен к общей точке подключения силовых ключей. В полумостовой инвертор вводится устройство защиты каждого силового ключа, которое включает в себя трансформатор тока и источник отрицательного смещения, причем первичная обмотка трансформатора тока подключена к эмиттеру силового ключа, источник отрицательного смещения включен параллельно ограничителю базового тока силового ключа.

Введено пускорегулирующее устройство, которое содержит реле переменного тока и ограничитель зарядного тока, который параллельно подключен к контактам реле, первая общая точка подключения которых соединяется с первым выводом помехоподавляющего фильтра, а к второй точке подключается первый вывод обмотки реле и первый вывод входного выпрямителя, второй вывод которого подключен к второму выводу обмотки реле и второму выводу помехоподавляющего фильтра.

Совокупность существенных признаков путем амплитудно-частотного регулирования выходных параметров источника питания на высокой частоте преобразования с минимальными энергетическими потерями позволяет расширить диапазон рабочих частот. Заявляемое устройство поясняется чертежами, где на фиг. 1 изображена его электрическая схема, на фиг. 2 - Диаграммы работы. Резонансный источник

напряжения постоянного тока содержит помехоподавляющий фильтр 1, входной выпрямитель 2, емкостной фильтр 3, полумостовой инвертор 4, который содержит последовательный управляемый резонансный контур 5, состоящий из конденсаторов 6, 7. емкостного делителя инвертора, первичной обмотки W_I силового трансформатора 8, управляемого дросселя 9, рабочая обмотка W_p которого включена последовательно со вторичной обмоткой W_{II} силового трансформатора 8 и через выпрямитель 10 подключена к выходу источника питания. Обмотка управления W_u дросселя 9 подключена к выходу управляющего стабилизатора тока 11, питание которого осуществляется от дополнительной обмотки W_I дросселя 9. а вторая обмотка W_{II} дросселя 9 через выпрямитель 12 подключена к выходу источника питания и ко входу стабилизатора тока 11. Полумостовой инвертора содержит последовательный резонансный контур 13, состоящий из конденсатора 14 и первичной обмотки W_I управляющего трансформатора 15. Устройство защиты 16, 17 от коммутационных перегрузок силовых ключей 18, 19, которые работают совместно со вторичными обмотками W_{II} , W_{III} трансформатора 15 и рассеивающими диодами 20,21, содержит токовые трансформаторы 22, 23 и источники отрицательного смещения 24, 25, которые включены параллельно ограничителям управляющего тока 26, 27. Пускорегулирующее устройство 28 содержит ограничитель зарядного тока 29, который включен параллельно нормально разомкнутым контактам реле 30.

Предлагаемый резонансный источник напряжения постоянного тока может быть реализован на основе полумостового инвертора. (Производственно-технический сборник "Передовой опыт", №3, М., 1989 г., стр. 34-36). В качестве силовых ключей могут быть использованы транзисторы КТ847А или КП934А. Силовой трансформатор и управляемый дроссель выполнены на Ш-образных ферритовых сердечниках марки М2000НМ1 Ш 20 x 28. Управляющий стабилизатор тока может состоять из стабилизатора, напряжения, выполненного на транзисторе КТ827, регулируемого источника опорного напряжения на стабилитроне Д818Е, усилителя обратной связи на микросхеме КР140УД20 и стабилизатора тока на транзисторе КТ825. В качестве выходных диодов могут быть использованы диоды КД2997А, входных диодов - КД210, емкостного фильтра - конденсаты К50-27-450В-220 мкф. Помехоподавляющий фильтр может быть выполнен на конденсаторах К73-17-6308-0,47 мкф и дросселе на III-образном ферритовом сердечнике марки М2000 НМ1 - Ш 16 x 20. Пускорегулирующее устройство может быть выполнено на реле РЭП-25 и резисторе типа С5-5-10-120 Ом. Принцип действия резонансного источника основан на изменении индуктивности рассеяния первичной обмотки силового трансформатора 8 под действием нагрузки и изменяющейся индуктивности управляемого дросселя 9. Эта зависимость может быть описана выражением

$$L = (-1 + \sqrt{1 + 8fR_n C})^2 / 16f^2 C. \quad (2)$$

где f - частота преобразования
 C - емкость трансформатора.

Частота преобразования инвертора 4, определяемая собственной частотой контура 13 и емкостями делителя 6,7, выбирается такой, чтобы в широких пределах изменения нагрузки R_n она перекрывала собственную частоту управляемого резонансного контура 5. При этом ограничение на частоту инвертора могут накладывать ключевые элементы инвертора. Частота управляемого контура 5 в значительной степени может ограничиваться только собственной частотой силового трансформатора 8 и управляемого дросселя 9. Поэтому для повышения собственной частоты трансформатора 8 следует уменьшать его индуктивность L и емкость C .

Для этого первичная обмотка трансформатора 8 выполнена на среднем керне Ш-образного ферритового сердечника в один слой, а вторичная обмотка состоит из двух одинаковых по количеству витков обмоток, которые размещены на крайних кернах в один слой и включены по выходу параллельно. Такое размещение и включение обмоток позволило уменьшить индуктивность рассеяния, примерно, в два раза и значительно уменьшить емкость трансформатора.

Дроссель управления 9 существенно не влияет на ограничение собственной частоты резонансного контура 5, так как его рабочая обмотка W_p состоит из двух одинаковых обмоток, которые выполнены на средних кернах двух Ш-образных ферритовых сердечниках и включены встречно. При этом общая индуктивность дросселя, в зависимости от значения тока управления, может регулироваться от единиц МКГн до сотен МКГн. Две дополнительные обмотки W_I и W_{II} , выполненные аналогично W_p , но включены встречно по отношению к ней, выполняют роль отбора мощности и существенного воздействия на диапазон изменения индуктивности дросселя не влияют.

Таким образом, через приведенную индуктивность рассеяния первичной обмотки в широких пределах может меняться собственная частота управляемого контура 5. Поэтому при максимальной частоте инвертора 4, заданном значении нагрузки R_n и управляющего тока через обмотку W_u дросселя можно получить соотношение:

$$wL = 1/wC, \quad (3)$$

где L - приведенная индуктивность рассеяния первичной обмотки трансформатора,
 C - емкость делителя напряжения инвертора,
 при котором наступает резонанс напряжений.

Формируя ток управления дросселем, пропорционально изменению выходного напряжения, можем получать стабилизированное его значение амплитудно-частотным способом регулирования выходных параметров источника питания.

Рассмотрим поочередно режимы работ источника питания.

Режим холостого хода. В момент времени t_0 подключения источника к сети происходит плавный заряд емкостного фильтра 3 (фиг. 2. U_3) через ограничитель зарядного тока 29 и входной выпрямитель 2. В момент времени t_1 , когда напряжение на обмотке реле 30 достигает уровня срабатывания U_c , его контакты замыкаются, при этом ограничитель 29 шунтируется и происходит доза-ряд емкостного фильтра 3. В это же

время происходит включение полумостового инвертора 4. Его частота определяется соотношением значений конденсаторов делителя 6, 7 и параметрами элементов контура 13 и при этом составляет порядка 18-20 кГц, амплитудой U_0 (фиг. 2, $U_{18,19}$). Ток холостого хода инвертора 4 составляет минимальное значение, благодаря оптимально выбранным значениям элементов в управляющих цепях, с учетом разброса технологических параметров силовых ключей. Амплитуда высокочастотного напряжения на первичной обмотке трансформатора соответствует напряжению U_0 емкостного фильтра 3. Ввиду отсутствия выходного тока импульсное напряжение на обмотках W_p , W_I , W_{II} дросселя 9 также отсутствует, поэтому выходное напряжение $U_{вых}$ соответствует напряжению холостого хода U_{xx} .

Этот режим характеризуется минимальным потреблением мощности от сети, так как незначительно затрачивается энергия на переключение силовых ключей, перемagnичивание силового трансформатора и отсутствует потребление энергии используемой на питание управляющего стабилизатора тока 11.

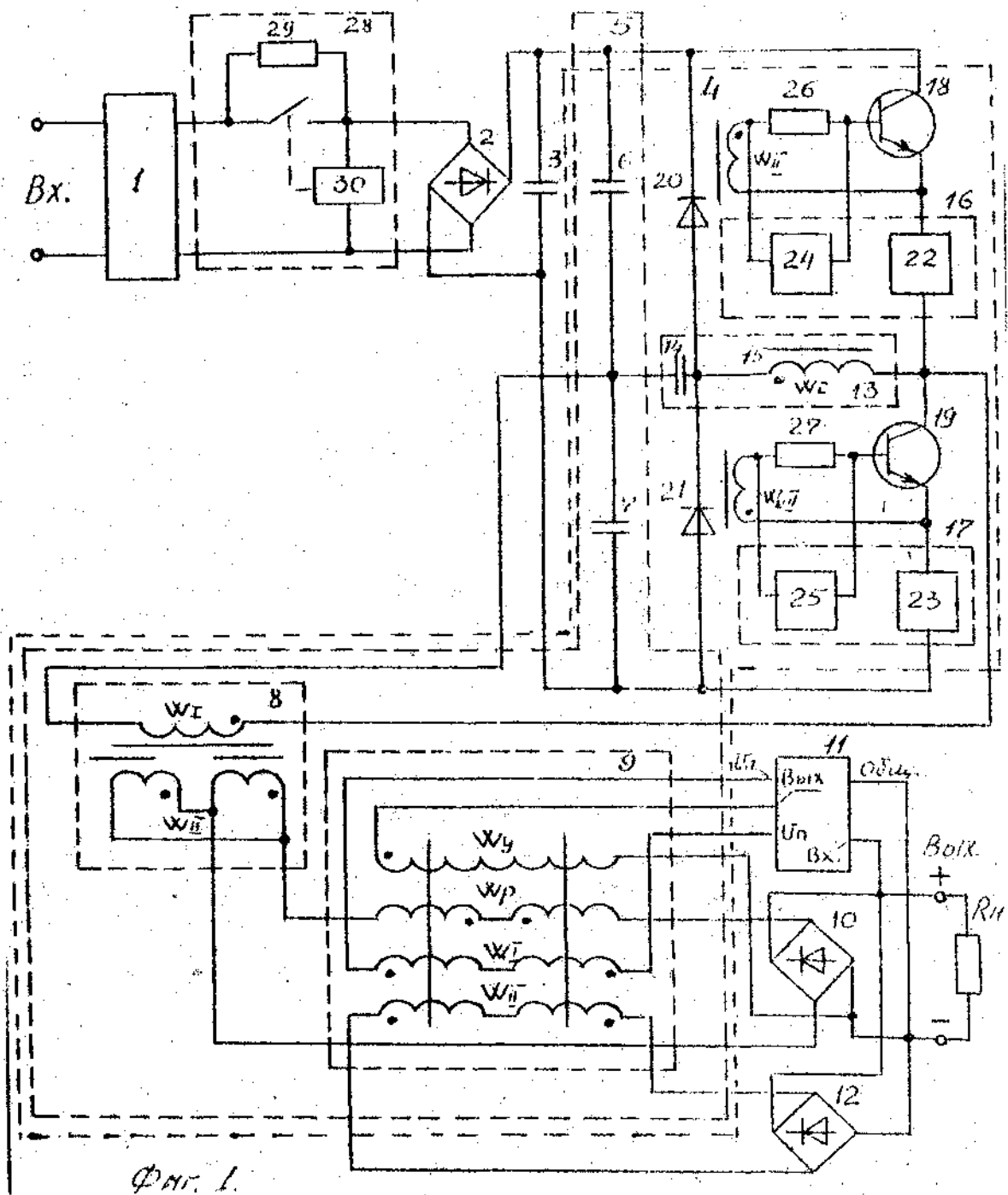
Режим максимальной нагрузки. В этом режиме постоянная времени заряда емкостного фильтра 3 $\tau_3=R_{29} \cdot C_3$ (4) существенно не меняется, по сравнению с режимом холостого хода, так как запуск полумостового инвертора предусматривается одновременно с включением контактов реле 30. Поэтому, постоянная времени τ_3 , обеспечивающая плавное нарастание тока, остается прежней. В этом режиме частота полумостового инвертора 4 возрастает в два раза, при этом амплитуда высокочастотного напряжения на силовых ключах 18, 19 остается прежней и соответствует напряжению U_0 (фиг. 1, 2, U_{19}). Амплитуда тока через силовые ключи достигает максимального значения и ограничивается устройствами защиты 16, 17, при несимметрии плеч перемagnичивания силового трансформатора на максимально допустимом уровне (фиг. 2, I_{19}). Амплитуда высокочастотного напряжения на первичной обмотке силового трансформатора 8 соответствует значению $3U_0$, то есть возрастет в 3 раза.

Форма и амплитуда высокочастотного напряжения на рабочих обмотках W_p дросселя 9 определяется особенностью работы резонансного источника и индуктивностью управляемого дросселя (фиг. 2, U_{wp}). В моменты паузы на дополнительных обмотках W_I , W_{II} дросселя 9 наводится ЭДС, которая, в первом случае, используется для питания стабилизатора тока 11 и формирования управляющего тока, а во втором - часть запасенной энергии передается в нагрузку. При этом значительно уменьшаются уровень пульсирующего напряжения на выходе источника питания при отсутствии конденсаторов сглаживающего фильтра.

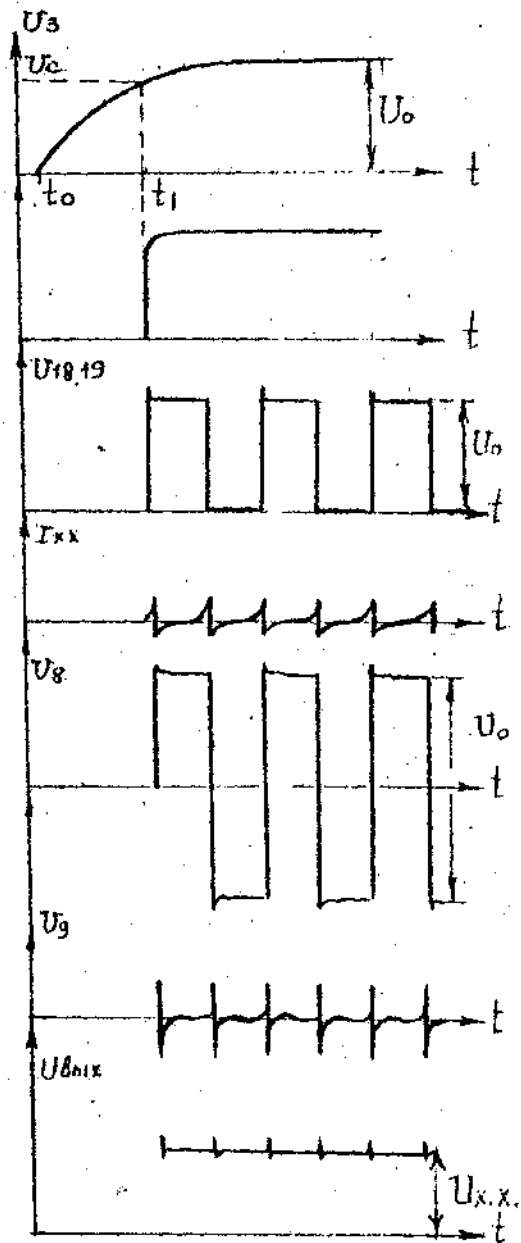
Режим максимальной нагрузки характеризуется: высоким КПД неуправляемого инвертора; малыми потерями на переключение силовых ключей, так как этот процесс происходит при нулевых значениях токов; пропорциональным токовым управлением ключей, так как амплитуда управляющего напряжения растет на трансформаторе 15 по мере увеличения выходной мощности (фиг. 2, U_8); рациональным использованием части запасенной энергии в управляющем дросселе и передаче ее в нагрузку.

На основе предлагаемого технического решения разработан и изготовлен резонансный источник напряжения постоянного тока с параметрами:

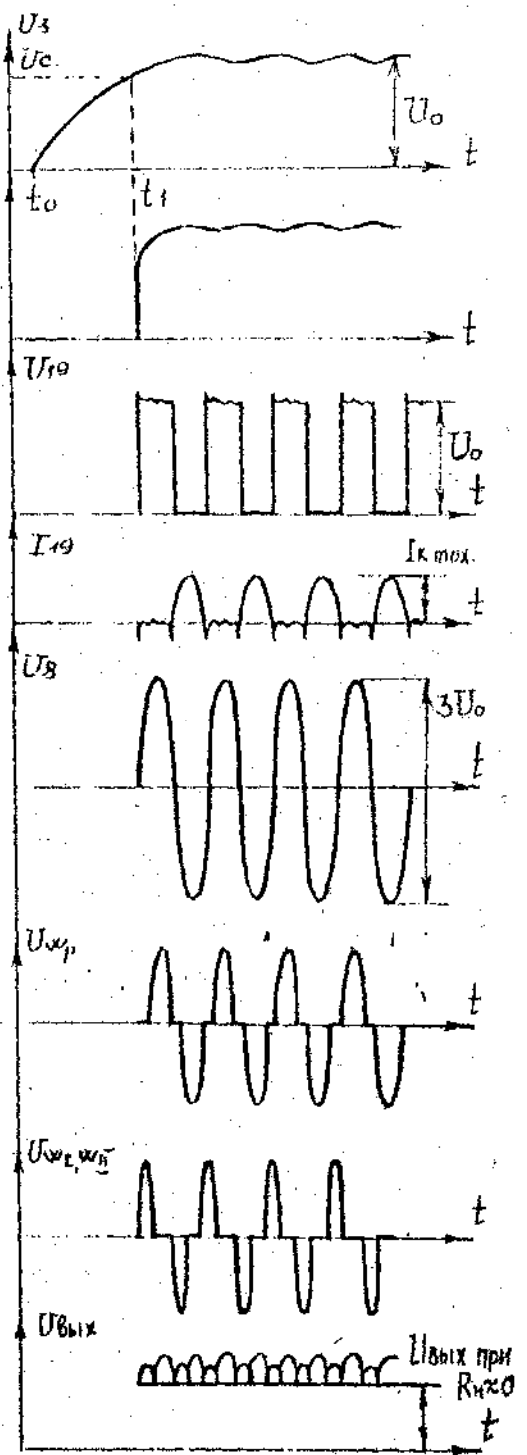
| | | |
|---|------------|---------------|
| Напряже- ние сети, U_c | 220 ± 10В, | частота 50 Гц |
| Выход- ное нап- ряжения, $U_{вых.}$ | | 5-25В |
| Выход- ной ток, $I_{вых.}$ | | 20-100А |
| Частота преобра- зования, F | | 20-40 кГц |
| КПД | | 0,85 |
| Выход- ная мак- сималь- ная мощ- ность, $P_{вых.}$ | | 2500 Вт |
| Вес | | 12 кг |



Режим холостого хода



Режим максимальной нагрузки



Фиг. 2