

МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ОТ БОРТОВОЙ СЕТИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Артюхов И.И.¹, Земцов А.И.², Должикова А.С.¹

¹ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», (410054, Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: epp@sstu.ru

²Филиал ФГБОУ «Самарский государственный технический университет» в г. Сызрани, (446001, г. Сызрань, ул. Советская, 45)

Магнетронные генераторы широко применяются в бытовых микроволновых печах. Эти печи ориентированы на применение в тех местах, где имеется сеть промышленной частоты. При установке микроволновой печи на транспортное средство для получения переменного напряжения промышленной частоты используется инвертор. Такое решение сопровождается увеличением стоимости, массы и габаритов. Альтернативным вариантом является питание магнетронного генератора непосредственно от бортовой сети транспортного средства. Однако в этом случае необходимо повысить постоянное напряжение более чем в 100 раз. Возникающие при этом задачи позволяет решить модульный принцип построения системы электропитания магнетронного генератора, который излагается в статье. Предлагается выполнить систему электропитания из блока питания накала и группы идентичных модулей, включенных последовательно на выходе и параллельно на входе. В состав каждого модуля входит инвертор с выходным напряжением повышенной частоты, трансформатор и выходной выпрямитель. Рассматриваются вопросы надежности построенной системы.

Ключевые слова: магнетронный генератор, источник питания, модуль

MODULAR POWER-SUPPLY SYSTEM OF MAGNETRON GENERATOR FROM AN ONBOARD NETWORK OF THE VEHICLE

Artyukhov I.I.¹, Zemtsov A.I.², Dolzhikova A.S.¹

¹Saratov State Technical University named Gagarin Y.A., Russian Federation, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77, e-mail: epp@sstu.ru

²Branch of Samara State Technical University in Syzran, Russian Federation, Syzran, Sovetskaya str., 45

Magnetron generators are widely used in household furnaces microwave heating. These furnaces are to be used in those places where there is a network of industrial frequency. When you install microwave ovens vehicle for obtaining the AC voltage of industrial frequency inverter is used. This decision is accompanied by increase in cost, weight and size. An alternative is the power magnetron generator directly from the electrical system of the vehicle. However, in this case you need to increase constant voltage is more than 100 times. Emerging challenges and helps to solve the system's modular design power magnetron generator, which is stated in the article. The proposed system comprises a plurality of identical power modules and filament power supply. The modules are connected in parallel at the input and output sequentially. The structure of each module includes an inverter with an output voltage of high frequency transformer and output rectifier. The questions the reliability of the constructed system.

Keywords: Magnetron generator, power supply, module

Наличие в автомобиле микроволновой печи избавляет от необходимости посещать придорожные закусочные, а также терять время на приготовление пищи. Возможность приготовить еду, не покидая транспортного средства, значительно упрощает отдых в дороге либо на стоянке. При этом микроволновую печь в автомобиле необходимо запитать от бортовой сети 12 либо 24 В, что связано с остановкой для отдыха в любом месте, где нет электрической сети 50 Гц с напряжением 220 В. Так же необходимо, чтобы микроволновая печь имела небольшие размеры, которые давали бы возможность разместить ее в кабине транспортного средства.

В настоящее время наиболее распространенным вариантом подключения микроволновой печи на автотранспорте является схема с использованием инвертора (рис. 1). При таком способе питания к сети автомобиля подключается инвертор с выходным напряжением 220 В / 50 Гц, от которого в свою очередь получает энергию блок питания бытовой микроволновой печи мощностью 1-1,2 кВт.

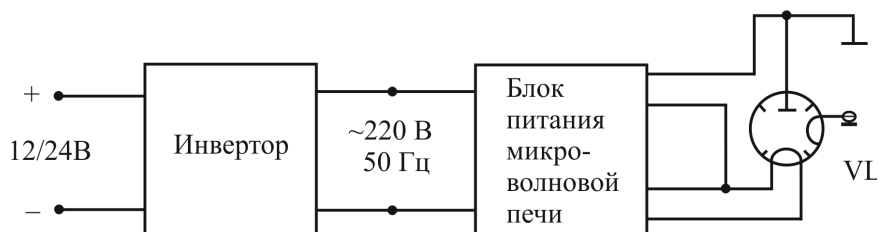


Рис. 1. Схема электропитания микроволновой печи с помощью инвертора

Для питания магнетронных генераторов в микроволновых печах широко применяется схема, которая показана на рис. 2. Особенностью этой схемы является применение одного силового трансформатора Т с двумя вторичными обмотками для создания цепей накала катода и анодного питания. Первичная обмотка трансформатора подключается к сети через фильтр электромагнитной совместимости (ЭМС) и коммутационное устройство (КУ), которое управляется блоком управления (БУ). Обмотка высокого напряжения и несимметричный удвоитель напряжения на конденсаторе С и диоде VD образуют источник анодного питания магнетрона [1].

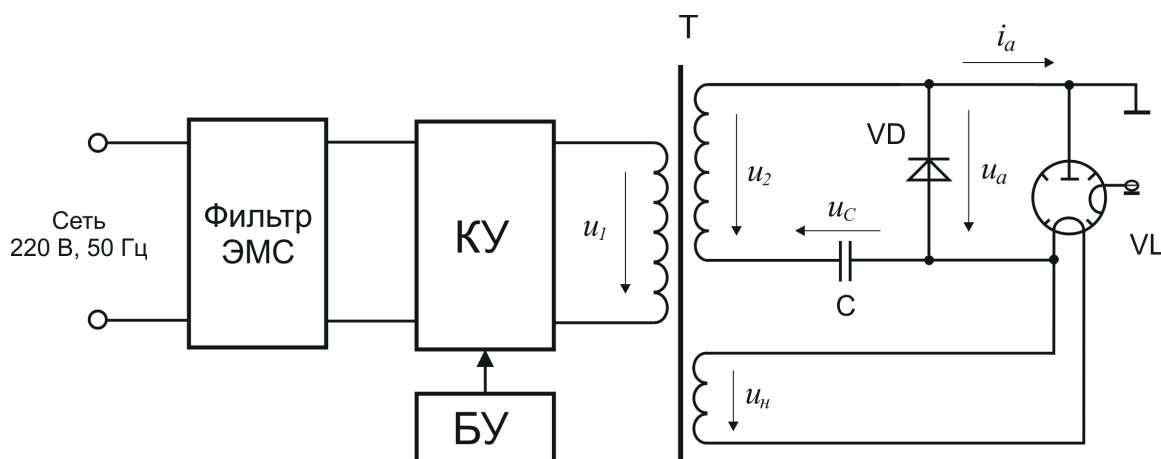


Рис.2. Типовая схема блока питания магнетронного генератора

Работа блока питания состоит из двух полупериодов. В первый из них происходит заряд конденсатора С от вторичной обмотки трансформатора Т через диод VD. При этом напряжение на аноде $u_a = 0$. Во второй полупериод напряжение u_2 на обмотке трансформатора суммируется с напряжением u_c на конденсаторе С. Как только анодное

напряжение $u_a = u_2 + u_C$ становится больше порогового значения, через магнетрон начинает протекать ток i_a , и возникает генерация СВЧ колебаний. Затем в течение всего интервала работы магнетрона анодное напряжение u_a и ток i_a магнетрона изменяются в соответствии с траекториями, которые определяются динамическим сопротивлением магнетрона и параметрами трансформатора.

Уровень СВЧ-мощности, подаваемой в рабочую камеру печи, регулируется широтно-импульсным методом. Блок управления периодически включает и выключает источник питания магнетрона с помощью коммутационного устройства. Так как в схеме, показанной на рис. 2, для питания анодной и накальной цепей используется один трансформатор, то из-за инерционности процесса термоэмиссии катода, анодный ток достигает рабочего значения спустя некоторое время после подачи напряжения на первичную обмотку трансформатора.

Применение схемы электропитания с инвертором (рис. 1) имеет ряд недостатков. Наиболее существенный из них – значительные масса и габариты элементов в блоке питания печи, которые работают на частоте 50 Гц. Кроме того, опыт эксплуатации инверторов для питания бортового электрооборудования на частоте 50 Гц показал не достаточную надежность их работы.

На современном рынке инверторы для питания электрооборудования от бортовой сети представлены производителями МАП «Энергия», АсmePower, MeanWell и др. Стоимость затрат на установку в данном случае составляет порядка 6000 рублей, из которых 3000 рублей это затраты на инвертор типа ПН 24/220-1000, а остальное цена микроволновой печи. Масса и габариты соответствующих устройств составляют 15 кг и 330x220x240 мм, 10 кг и 495x290x380 мм, что затрудняет их эксплуатацию в условиях ограниченности пространства кабины транспортного средства [3].

Альтернативным вариантом подключения микроволновой печи на транспорте может послужить схема питания магнетрона непосредственно от бортовой сети транспортного средства. При такой схеме питания необходимо повысить постоянное напряжение более чем в 100 раз. Решение данной, достаточно сложной, задачи имеет несколько вариантов. В первом случае источник питания будет состоять из инвертора с повышенной частотой выходного напряжения, к которому будет подключен высоковольтный трансформатор повышенной частоты. Затем к вторичной обмотке трансформатора через выпрямитель подключается магнетрон [1]. Схема такого устройства показана на рис. 3.

Однако создание высоковольтного трансформатора на повышенную частоту ограничено определенными трудностями, связанными с необходимостью снижения

плотности тока в обмоточных проводах высоковольтной обмотки на повышенных частотах, что ведет за собой необходимость увеличения площади поперечного сечения проводов.

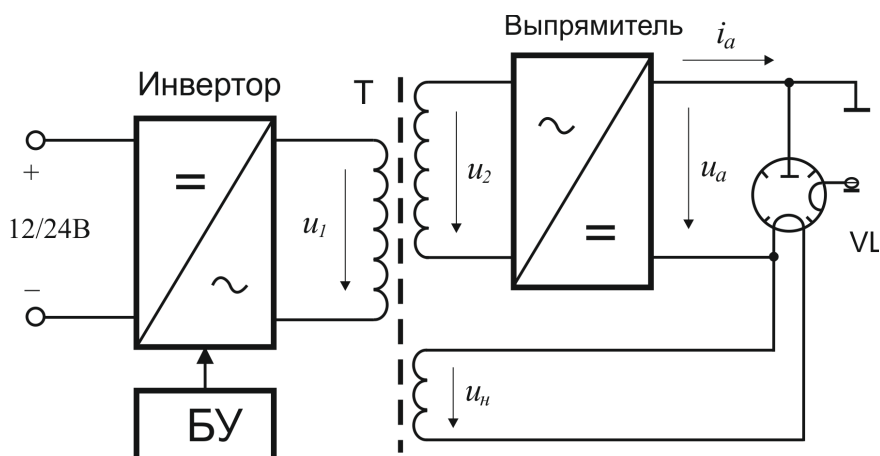


Рис. 3. Схема питания магнетронного генератора с промежуточным звеном повышенной частоты

При ограниченных габаритах данных обмоток, связанных с габаритами применяемых ферритовых сердечников, возникает конструктивное ограничение на максимальное выходное напряжение высоковольтного трансформатора повышенной частоты, определяемое как $0,1-0,15$ Вт/Гц. При выполнении этого ограничения обеспечивается оптимальный тепловой и электрический режим работы трансформатора [2].

Во втором варианте система электропитания будет состоять из группы модулей, выходная мощность которых будет суммироваться [4]. Схема такой системы представлена на рис. 4. Система электропитания состоит из блока питания накала ПН и N идентичных модулей M_1, M_2, \dots, M_N , включенных последовательно на выходе и параллельно на входе. Каждый из модулей представляет собой ячейку, в состав которой входит инвертор с выходным напряжением повышенной частоты, трансформатор и выходной выпрямитель. Каждый модуль системы электропитания содержит свою независимую систему управления, что позволяет использовать модуль отдельно или в составе схемы суммирования мощности.

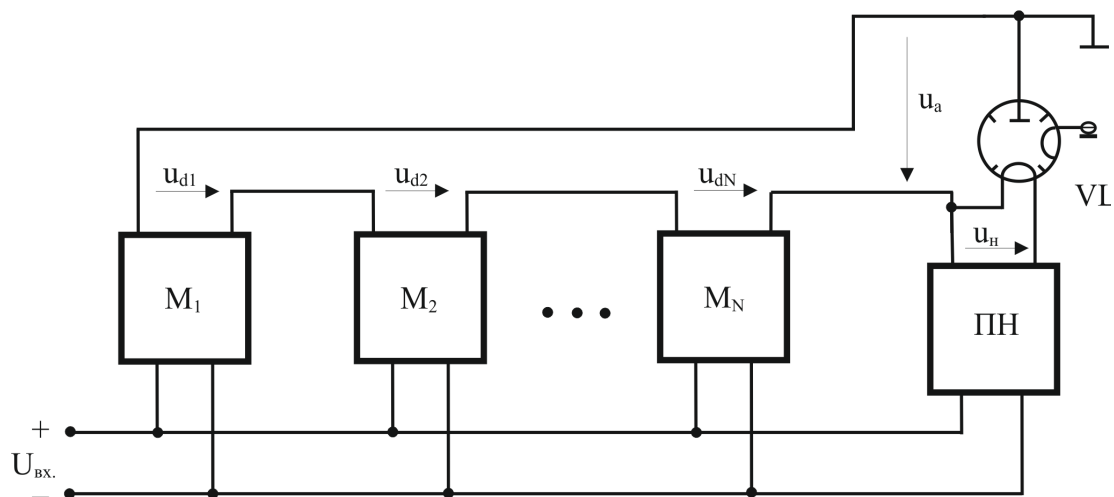


Рис. 4. Схема модульной системы электропитания магнетронного генератора

Напряжение u_a на аноде магнетрона представляет собой сумму напряжений u_{dk} на выходе модулей

$$u_a = \sum_{k=1}^N u_{dk} \cdot \quad (1)$$

Суммирование напряжений u_{dk} в схеме на рис. 4 может быть либо синфазным, либо многофазным. Второе предпочтительнее, так как при этом отпадает необходимость в установке на выходе крупногабаритных высоковольтных фильтров, которые значительно ухудшают массогабаритные показатели электрооборудования в целом. Для многофазного суммирования напряжений модули должны управляться со сдвигом $2\pi / N$. Так, например, если в состав системы электропитания входят 6 модулей, то они должны управляться со сдвигом $\pi / 3$.

Каждый модуль должен быть рассчитан на работу в длительном режиме с выдачей мощности, которая в N раз меньше мощности нагрузки. Такая схема обеспечивает высокую степень надежности, благодаря резервированию отдельных модулей и не теряет работоспособности при выходе одного из них из строя. Так же применение источника электропитания, построенного по такой схеме, позволит значительно сократить массогабаритные показатели электрооборудования в целом.

Надежность модульной системы электропитания зависит от количества и состава модулей.

Основными параметрами, характеризующими надежность системы, являются вероятность безаварийной работы $P(t)$, среднее время безаварийной работы T_0 и интенсивность отказов λ [5].

Интенсивность отказов модульной системы электропитания находится по формуле:

$$\lambda_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (2)$$

где λ_i – значение интенсивности отказов i -го модуля,

N – количество модулей системы, включенных в структурную схему для расчета надежности.

Интенсивность отказов одного модуля находится по формуле:

$$\lambda_M = \lambda_H + \lambda_T + \lambda_B + \lambda_V, \quad (3)$$

где λ_H , λ_T , λ_B , λ_V – значения интенсивностей отказов инвертора, высоковольтного высокочастотного трансформатора, выходного выпрямителя и системы управления модуля,

Все значения интенсивности отказов элементов, входящих в состав модуля, находятся также по формуле (2).

Среднее время безаварийной работы определяется из выражения:

$$T_0 = 1 / \lambda_{\text{общ}} = 1 / \sum_{i=1}^N \lambda_i. \quad (4)$$

Надежность системы, то есть вероятность безотказной работы за время t , которая в случае независимых отказов подчиняется закону Пуассона, находится по формуле:

$$P_{0(t)} = e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i} = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (5)$$

Данное выражение позволяет определить вероятность того, что система проработает безотказно в течение времени t .

Таким образом, можно определить надежность каждого из модулей и всей системы в целом в зависимости от конкретного состава каждого модуля, и тем самым выявить оптимальное соотношение «мощность – надежность» модульной системы электропитания микроволновой печи, установленной на транспортном средстве.

Список литературы

1. Артюхов И.И. Направления совершенствования мультигенераторных СВЧ электротехнологических установок / И.И. Артюхов, А.И. Земцов. – Вестник СГТУ. – 2011. – № 1 (54). – Вып. 3. – С. 151 – 156.
2. Земцов А.И. Высокочастотный трансформатор для источника питания СВЧ электротехнологической установки / А.И. Земцов // Проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2011. – С. 97 – 100.

3. Земцов А.И. Микроволновая печь с питанием от бортовой сети транспортного средства / А.И. Земцов, И.И. Артюхов // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. // Участники школы молодых ученых и программы У.М.Н.И.К. – Саратов: СГТУ, 2011. – С. 151 – 153.
4. Полищук А. Высокоэффективные источники вторичного электропитания высокого напряжения / Полищук А. // Силовая электроника. –2004. – №2. – С. 66 – 70.
5. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. –2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

Рецензенты:

Коломейцев В.А., д.т.н., профессор кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г.Саратов.
Фурсаев М.А., д.т.н., профессор кафедры «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.