

Высоковольтные импульсные модуляторы

77-30569/255442

11, ноябрь 2011

Казанцев В. И., Сергеев В. Г., Платонов С. А.

УДК 621.373.5

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

pserg01@list.ru

kazancev_VI@mail.ru

sergeev_VG@mail.ru

Введение

В настоящее время в радиолокации для получения СВЧ колебаний высоких уровней мощности используются электровакуумные генераторные и усилительные приборы. Как правило, эти приборы работают в импульсном режиме. Для их питания необходимы системы импульсного электропитания – модуляторы [1]. Модуляторы включают в себя мощный высоковольтный ключ и накопитель электрической энергии, который может быть емкостным или индуктивным. В настоящее время используют модуляторы с емкостными накопителями. В свою очередь такие модуляторы разделяются на устройства с частичным разрядом и полным разрядом формирующей линии. Применение последних не целесообразно, так как они не позволяют быстро менять параметры формируемых импульсов в широких пределах. По виду нагрузки и режимам работы различают два вида модуляторов: анодные и сеточные. Анодные модуляторы осуществляют коммутацию полного напряжения питания электровакуумного прибора, они могут быть одноктактными (для магнетронов) или двухтактными (для клистронов и ЛБВ). Сеточные модуляторы осуществляют коммутацию сравнительно небольшого напряжения, действующего между управляющим электродом генераторной лампы и ее катодом. Они находятся при этом под высоким потенциалом катода. Такие модуляторы должны быть двухтактными.

Ранее использовались модуляторы, в которых коммутация управляющего напряжения осуществлялась с помощью малоинерционных электровакуумных или газоразрядных ключей. В настоящее время такие модуляторы не удовлетворяют требованиям по надежности, массе и габаритам.

Благодаря появлению мощных высоковольтных ключевых транзисторов возникла возможность конструировать малогабаритные импульсные модуляторы с рабочими напряжениями до 50 кВ и импульсными токами до 100 А, построенные полностью на твердотельных элементах. При этом длительности фронта и спада питающих импульсов в отдельных случаях могут не превышать 25 нс.

В данной работе приводятся примеры реализации высоковольтных модуляторов зарубежного и отечественного производства на твердотельных ключевых элементах.

Модуль модулятора для СВЧ применений Diversified Technologies, Inc. (DTI)

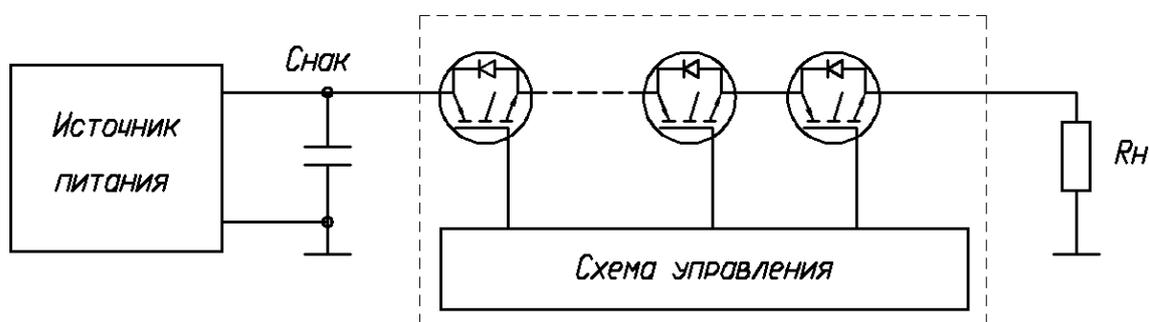


Рис. 1. Схема модуля на напряжение 9 кВ и ток 30 А.

Серийный модулятор производства фирмы DTI [2], используется в мощных радиолокационных комплексах и для проведения научных экспериментов, где необходимы мощные высоковольтные импульсы. Такой модуль позволяет коммутировать напряжение 9 кВ с током 30 А. Максимальная частота повторения импульсов составляет 40 кГц, при этом минимальная длительность составляет 1 мкс. Длительность фронта формируемого импульса 100 – 500 нс. Структурная схема модуля показана на рисунке 1. Модуль построен на мощных высоковольтных IGBT транзисторах. Так как максимально допустимое рабочее напряжение каждого транзистора составляет 1700-3500 В, то для увеличения напряжения они соединяются последовательно. Охлаждение силовых элементов схемы производится с помощью массивных металлических радиаторов.

На базе таких модулей путем последовательного или параллельного соединения строятся сборки анодных или сеточных модуляторов на требуемое напряжение и ток. В результате возможно получение рабочих напряжений модулятора до 150 кВ и токов до 5000 А [3].

По заказу ВМФ США компания DTI произвела модернизацию радиолокационных комплексов AN/SPG-60 корабельного базирования [4], построенных на базе мощного клистрона. При этом разработчики отмечают, что проведение модернизации позволило значительно сократить расходы на обслуживание и ремонт комплекса, снизилось число отказов.

Применение стандартных модулей для построения модуляторов дает большое преимущество компании DTI, возможно их крупносерийное производство. Однако, при необходимости использования в модуляторе более одного модуля, значительно увеличиваются общие габариты устройства. В конечном итоге это приводит к увеличению паразитной емкости на землю, что затрудняет получение высоких частот повторения импульсов, снижению общей эффективности устройства и увеличению тепловыделения в ключевых элементах.

Анодные модуляторы НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аналогичные модуляторы строятся на базе мощных MOSFET транзисторов, соединенных последовательно [6, 7, 8]. Структурная схема аналогична представленной на рисунке 1, используемой в [2]. Преимуществом данных модуляторов является низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами. Благодаря индивидуальной разработке каждого модулятора и применению специальной системы охлаждения ключевых элементов, построенной на базе теплопроводных электроизоляционных материалов, удается существенно уменьшить их габариты и вес. В результате значительно снижаются паразитные емкости, что позволяет уменьшить потери в модуляторе и достигнуть длительностей фронта и спада в 40 нс и длительности импульсов 80 нс. Ниже приведены характеристики данных модуляторов.

- Коммутируемое напряжение – до 20 кВ.
- Импульсный ток – до 30 А.
- Длительность импульса – от 80 нс.
- Частота повторения импульсов – до 30 кГц.
- Диапазон рабочих температур – от минус 60 до 80 °С.

Сеточные модуляторы НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

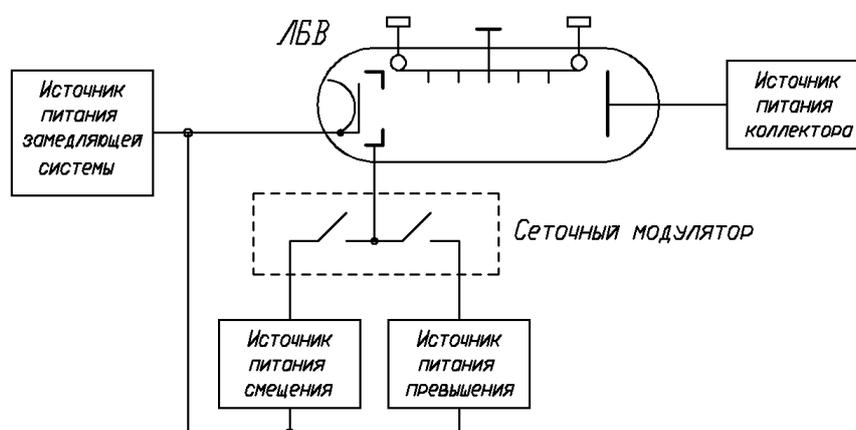


Рис. 2. Схема передатчика с сеточным управлением лампы.

В последнее время в радиолокации часто используют сложно модулированные сигналы с высокой частотой повторения и широкой полосой рабочих частот. Для усиления таких сигналов, как правило, используются лампы бегущей волны (ЛБВ) или клистроны. Напряжения питания таких устройств составляют 20-40 кВ, что при высоких частотах повторения импульсов затрудняет использование для них анодной модуляции. В таких приборах используется сеточная модуляция. На рисунке 2 представлена типичная схема усилителя с сеточным управлением.

Управление лампой происходит путем подачи на управляющий электрод либо отрицательного запирающего напряжения смещения, либо положительного открывающего напряжения превышения. Рабочие напряжения сеточных модуляторов составляют 1 – 5 кВ, что позволяет получить частоты повторения импульсов вплоть до 1 МГц при минимальной длительности импульса в 40 нс. Длительности фронта и спада при этом не превышают 25 нс.

Применение в радиолокационных станциях передатчиков, построенных на базе ЛБВ, с твердотельными сеточными модуляторами, способными формировать наносекундные импульсы, позволяет значительно увеличить разрешающую способность по дальности и увеличить число одновременно обрабатываемых целей.

Так как при использовании сеточной модуляции к электровакуумному прибору непрерывно подводится высокое напряжение питания катода, то оказывается возможным возникновение пробоя внутри лампы. При таких пробоях энергия, запасенная в накопителе, выделяется на электродах, что может привести к необратимым разрушениям. Для защиты электровакуумного прибора от последствий пробоев возможно применение специальных защитных ключей. Структурная схема защитного ключа представлена на рисунке 3. В нормальном режиме защитный ключ находится в замкнутом состоянии. При возникновении пробоя в лампе защитный ключ размыкается, прерывая протекание тока разряда через электровакуумный прибор.

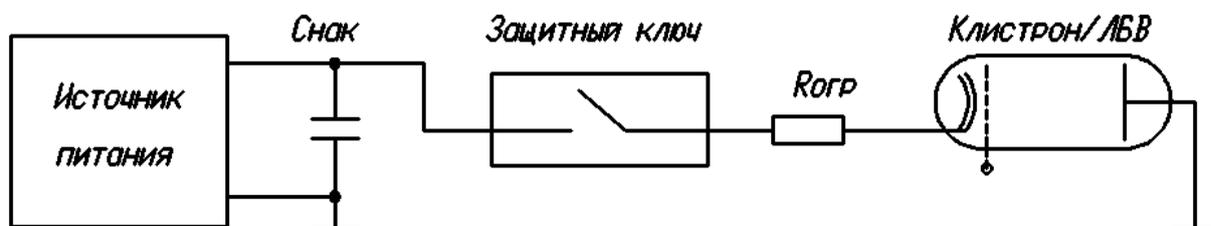


Рис. 3. Структурная схема защиты электровакуумного прибора от пробоев.

Заключение

Рассмотренные выше реализации твердотельных модуляторов для СВЧ электровакуумных приборов позволяют сделать вывод, что полностью твердотельные высоковольтные импульсные модуляторы вытесняют ламповые. Это обусловлено, прежде всего, увеличением срока службы и повышением надежности систем, построенных на их основе. Накопленный опыт разработки и эксплуатации подобных модуляторов позволяет утверждать, что применение твердотельных модуляторов повышает надежность не только цепей питания, но и всего радиопередающего устройства в целом. Использование защитных ключей для СВЧ ЭВП приборов с сеточным управлением, уменьшает энергию, выделяемую в этих приборах при пробоях, и, следовательно, увеличивает срок их службы.

Литература

1. Передающие устройства СВЧ: Учеб. Пособие для радиотехнич. Спец. Вузов/ Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А.; под ред. М.В. Вамберского – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с., ил.
2. SOLID-STATE HIGH VOLTAGE PULSE MODULATORS FOR HIGH POWER MICROWAVE APPLICATIONS. Dr. Marcel P.J. Gaudreau, Dr. Jeffrey Casey, J. Michael Mulvaney, Michael A. Kempkes. Diversified Technologies, Inc., Bedford, MA 01730 USA
3. HIGH PERFORMANCE, SOLID-STATE HIGH VOLTAGE RADAR MODULATORS. M. Gaudreau, J. Casey, P. Brown, T. Hawkey, J. Mulvaney, M. Kempkes. Diversified Technologies, Inc. 35 Wiggins Avenue, Bedford, MA USA
4. Solid State Radar Modulators. Dr. Marcel P.J. Gaudreau, Dr. Jeffrey A. Casey, J. Michael Mulvaney, Michael A. Kempkes., Diversified Technologies, Inc., Bedford, MA 01730, USA
5. High-Voltage Modulator System/ Lawrence W/ Goins, El Dorado Hills, CA (US); Daniel Goluszek, El Dorado Hills, CA (US). Патент США №US 2010/0135047 A1 Jun. 3, 2010.
6. Высоковольтный импульсный модулятор со стабилизацией амплитуды импульсов и электронный ключ для него (варианты). Алексеев В.А., Казанцев В.И., Сергеев В.Г., Хижняков П.М., Швагерев А.М. Патент №2339185.
7. Казанцев В. И. Практика разработки современных радиопередающих систем для мощных импульсных РЛС СВЧ и КВЧ диапазонов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана спец выпуск №2 2009г.
8. Радиопередающие системы для мощных импульсных РЛС. Казанцев В.И., Алексеев В.А., Сергеев В.Г., Хижняков П.М. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана спец выпуск №2 2009г.

9. Высоковольтная система электропитания (варианты) и электронный ключ для нее. Алексеев В.А., Казанцев В.И., Сергеев В.Г., Хижняков П.М., Швагерев А.М. Патент №2315387.

High-voltage pulse modulators

77-30569/255442

11, November 2011

Kazancev V.I., Sergeev V.G., Platonov S.A.

Bauman Moscow State Technical University

pserg01@list.ru

kazancev_VI@mail.ru

sergeev_VG@mail.ru

This article deals with high-voltage pulse modulators, used in the supply circuits of powerful generator and amplifier electro-vacuum microwave devices. The advantages of solid-state modulators over electrical ones were shown in the article. Russian and oversea productions of high-voltage modulators were considered. Block diagrams of the anode and grid modulators and electro-vacuum device's breakdown protection scheme with a security key were included.

Publications with keywords: [solid state high voltage switch](#), [TWT](#), [klystron](#)

Publications with words: [solid state high voltage switch](#), [TWT](#), [klystron](#)

Reference

1. Vamberskii M.V., Kazantsev V.I., Shelukhin S.A., in: Vamberskii M.V., Microwave transmitters, Moscow, Vyssh. shk., 1984, 448 p.
2. Dr. Marcel P.J. Gaudreau, Dr. Jeffrey Casey, J. Michael Mulvaney, Michael A. Kempkes., SOLID-STATE HIGH VOLTAGE PULSE MODULATORS FOR HIGH POWER MICROWAVE APPLICATIONS, Diversified Technologies, Inc., Bedford, MA 01730 USA.
3. M. Gaudreau, J. Casey, P. Brown, T. Hawkey, J. Mulvaney, M. Kempkes, HIGH PERFORMANCE, SOLID-STATE HIGH VOLTAGE RADAR MODULATORS, Diversified Technologies, Inc. 35 Wiggins Avenue, Bedford, MA USA
4. Dr. Marcel P.J. Gaudreau, Dr. Jeffrey A. Casey, J. Michael Mulvaney, Michael A. Kempkes., Solid State Radar Modulators, iversified Technologies, Inc., Bedford, MA 01730, USA
5. High-Voltage Modulator System/ Lawrence W/ Goins, El Dorado Hills, CA (US); Daniel Goluszek, El Dorado Hills, CA (US). Patent SShA №US 2010/0135047 A1 Jun. 3, 2010.

6. Alekseev V.A., Kazantsev V.I., Sergeev V.G., Khizhniakov P.M., Shvagerev A.M., Patent №2339185.
7. Kazantsev V. I., Vestnik MGTU im. N.E. Baumana - Bulletin of BMSTU Special issue 2 (2009).
8. Kazantsev V.I., Alekseev V.A., Sergeev V.G., Khizhniakov P.M., Vestnik MGTU im. N.E. Baumana - Bulletin of BMSTU Special issue 2 (2009).
9. Alekseev V.A., Kazantsev V.I., Sergeev V.G., Khizhniakov P.M., Shvagerev A.M., Patent №2315387.