

УДК 621.373.5

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МОДУЛЯТОР

THE MULTI-CHANNEL PULSE MODULATOR

О. В. Доницков,
инженер-конструктор СКБ-4 НПООО «ОКБ ТСП»

O. Danitskou

Дата поступления в редакцию — 09.09.2015 г.

В статье рассмотрены особенности работы высоковольтных модуляторов как составных частей передающего устройства радиолокационных станций. Приведена схема и описание работы импульсного многоканального твердотельного модулятора, позволяющего добиться повышения помехозащищенности при постановке разного рода активно-шумовых помех по главному и боковым лепесткам диаграммы направленности антенны путем мгновенной широкополосной коммутации рабочей частоты и применения режима формирования последовательной двухчастотной посылки в одном периоде повторения. В работе рассмотрены особенности управления отдельными транзисторами, способы, позволяющие убавить динамические потери при работе на высоких частотах повторения зондирующих импульсов и, следовательно, уменьшить габаритные размеры устройства.

The article describes the features of the high-voltage modulators, as components of the transmission device of radar stations. The scheme and description of the multi-channel pulse modulator solid, allowing achieve greater noise immunity for setting different kinds of active-noise interference on the main and side-lobe antenna by instantaneous broadband switching the operating frequency and mode of formation of a consistent application of the two-frequency packages in one repetition period. The paper describes the features of the management of individual transistors, ways to reduce dynamic losses during high pulse repetition frequencies, and hence reduce the overall size of the device.

Введение.

В последнее время в радиолокации часто применяют 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 10–40 кВ, что при высоких частотах повторения импульсов затрудняет использование для них анодной модуляции. В таких приборах используется сеточная модуляция. 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 высокие

частоты повторения импульсов [1, 2]. Такие модуляторы должны быть двухтактными, так как необходимо жестко формировать фронт и спад импульса управления лампой. Нагрузкой в этом случае выступает паразитная емкость управляющего электрода лампы.

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. Применение твердотельных модуляторов повышает надежность радиопередающего устройства в целом, а также позволяет уменьшить габариты [3]. В случае применения твердотельных ключевых элементов становится возможным обеспечить работу

модулятора на N нагрузок. Многоканальный модулятор позволяет добиться повышения помехозащищенности при постановке разного рода активно-шумовых помех по главному и боковым лепесткам диаграммы направленности антенны путем мгновенной широкополосной коммутации рабочей частоты и применения режима формирования последовательной двухчастотной посылки в одном периоде повторения.

Структурная схема многоканального модулятора.

Одним из способов обеспечения работы модулятора на N нагрузок является параллельное использование нескольких одноканальных модуляторов, каждый из которых подключен к одной из нагрузок. Недостатком этого способа является аппаратная избы-

точность данного решения, так как в определенный момент времени работает один или несколько модуляторов, а остальные будут находиться в резерве. Поскольку система управления модуляторами обеспечивает быструю равновероятную коммутацию и различную продолжительность их работы, система охлаждения должна обеспечивать одинаковое эффективное охлаждение всех приборов. Массивные радиаторы неработающих в данный момент приборов не будут использованы и, как следствие, конечный объем и масса системы будет относительно большими.

Другим способом является использование одного многоканального импульсного модулятора [4], представленного на рис. 1, при этом обеспечивается оптимальное использование охлаждающих поверхностей и, как следствие, уменьшение объема устройства.

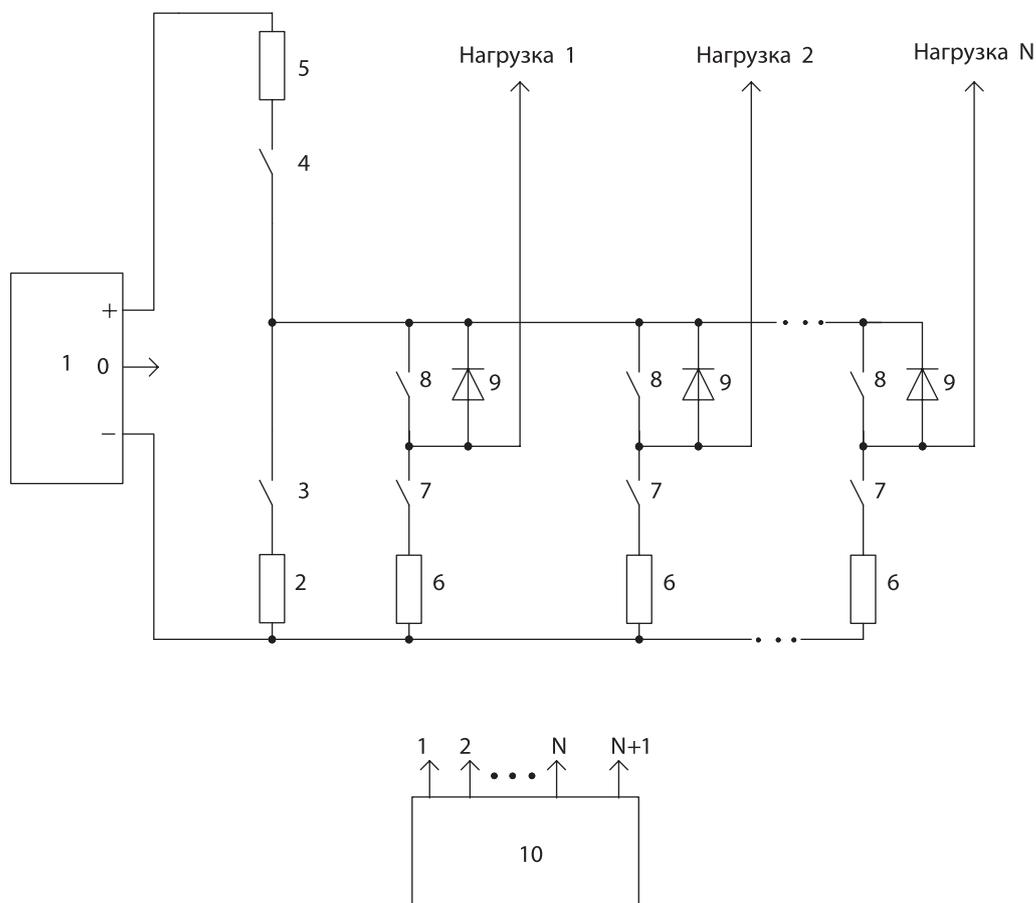


Рис. 1. Многоканальный импульсный модулятор

Многоканальный импульсный модулятор (см. рис. 1) содержит источник постоянного напряжения (1), содержащий в общем случае положительный, отрицательный и общий (нулевой) выводы. Устройство содержит N выходов для подключения нагрузок. В общем случае каждая из N нагрузок может быть подключена между одним из выходов устройства и положительным, либо отрицательным, либо общим выводом источника. В частном случае общий вывод источника может отсутствовать. Между положительным и отрицательным выводами источника включен каскад модуляции, содержащий последовательно соединенные ограничительный резистор (2), управляемые ключевые элементы (3, 4) и ограничительный резистор (5). Ограничительный резистор (2) подключен к отрицательному выводу источника. Между общим выводом последовательно соединенных ключевых элементов (3, 4) и отрицательным выводом источника подключен первый каскад коммутации, который содержит последовательно соединенные ограничительный резистор (6), управляемый ключ (7) и параллельно соединенные управляемый ключ (8) и диод (9), подключенный своим катодом к общему выводу последовательно соединенных ключевых элементов (3, 4). Последующие N каскадов коммутации подключены параллельно первому каскаду коммутации. Для подключения нагрузки каждый каскад коммутации содержит вывод, соединенный с анодом диода (9), который является одним из выходов устройства. Блок управления (10) предназначен для подачи сигналов на управляющие входы ключевых элементов. Ограничительные резисторы (2, 5, 6) предназначены для уменьшения бросков тока через ключевые элементы при перезаряде емкостных нагрузок, а также при коротких замыканиях и пробоях в нагрузках.

Принцип работы многоканального модулятора.

Временные диаграммы работы многоканального модулятора приведены на рис. 2. Многоканальный импульсный модулятор работает следующим образом. В исходном состоянии управляемый ключ (4) и управляемые ключи (8) каскадов коммутации разомкнуты, а управляемый ключ (3) и управляемые ключи

(7) каскадов коммутации замкнуты. При этом к нагрузкам будет подключено отрицательное напряжение источника. Это состояние может поддерживаться сколь угодно долго, независимо от длительности паузы между импульсами управления. При подаче от блока управления (10) модулирующего импульса k -го канала управление ключами происходит в следующем порядке. При формировании фронта импульса на нагрузке k -го канала замыкается ключ (7) k -го каскада коммутации и ключ (3) каскада модуляции, а ключ (8) k -го каскада коммутации и ключ (4) каскада модуляции замыкается. Это состояние может поддерживаться сколь угодно долго, обеспечивая формирование вершины импульса положительной полярности на нагрузке k -го канала. При формировании спада импульса размыкается ключ (4) и замыкается ключ (3). При этом к нагрузке через диод (9), ключ (3) и резистор (2) будет приложено отрицательное напряжение источника. После завершения коммутационных процессов в нагрузке размыкается ключ (8) и замыкается ключ (7).

Возможно несколько режимов работы устройства: модулирующие импульсы поступают в нагрузку одного из каналов; модулируются любые два или более каналов синхронно; поочередная модуляция каналов по их номерам и во времени по определенному закону. В режиме, когда работает только один канал, его ключи (7, 8) переключаются в соответствии с управляющими импульсами, в остальных каскадах ключи (8) разомкнуты, а ключи (7) замкнуты и подают отрицательное напряжение на соответствующие нагрузки. В режиме, когда работают несколько выходных каналов одновременно, ключи (7, 8) данных каналов переключаются синхронно с ключами (3, 4) в соответствии с длительностью и частотой управляющих импульсов, в остальных каскадах ключи (8) разомкнуты, а ключи (7) замкнуты и подают отрицательное напряжение на соответствующие нагрузки.

На рис. 2 представлены временные диаграммы работы многоканального импульсного модулятора, где U_1 — импульсы синхронизации блока (10) для управления k -каналом, U_2 — импульсы синхронизации блока (10) для управления m -каналом, U_3 — импульсы управления ключом (7) k -канала, U_4 — импульсы

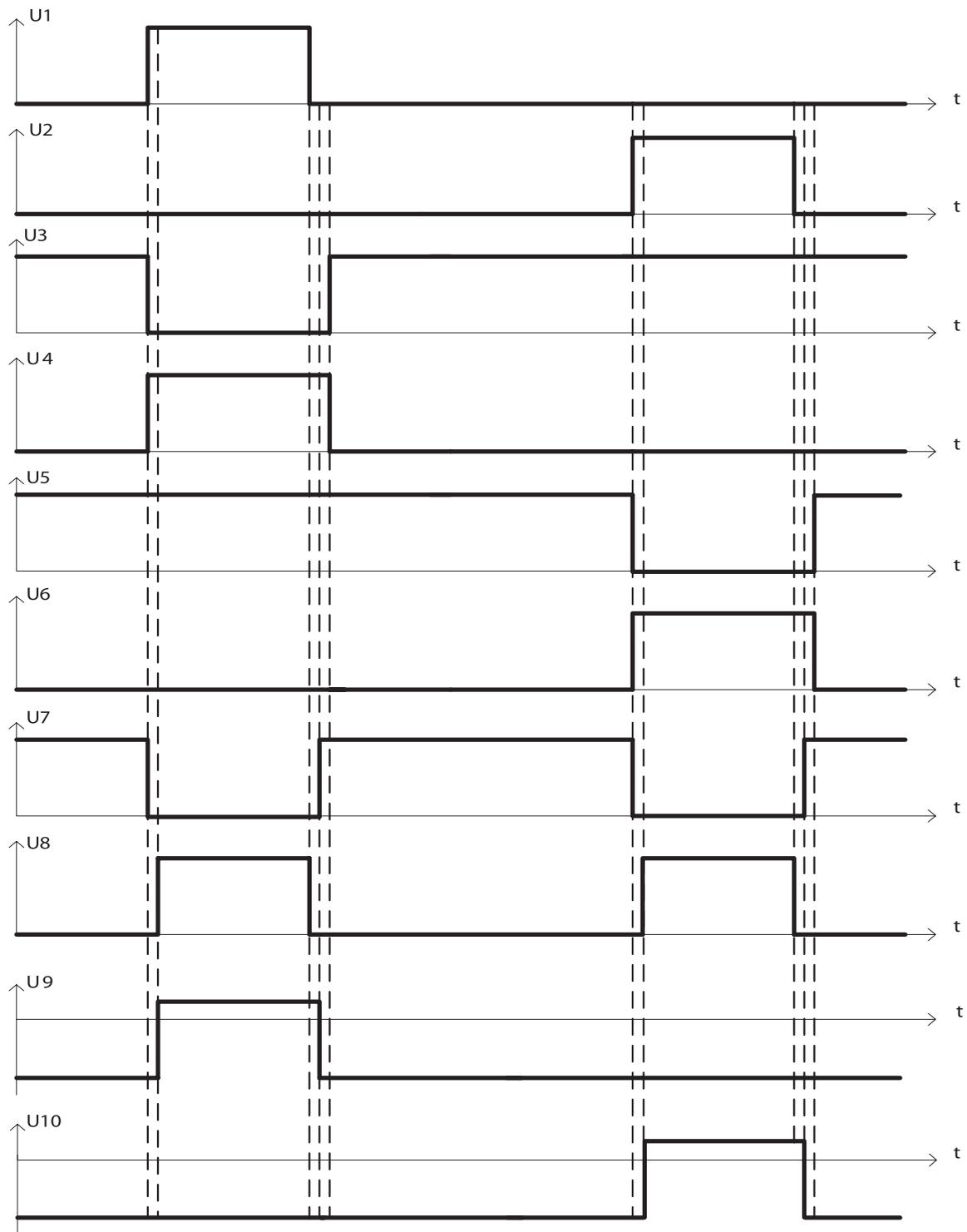


Рис. 2. Временные диаграммы работы многоканального модулятора

управления ключом (8) k -канала, $U5$ — импульсы управления ключом (7) m -канала, $U6$ — импульсы управления ключом (8) m -канала, $U7$ — импульсы управления ключом (3), $U8$ — импульсы управления ключом (4), $U9$ — импульсы модуляции на нагрузке k -канала, $U10$ — импульсы модуляции на нагрузке m -канала.

Из временных диаграмм видно, что включение ключей (8) в каскадах коммутации происходит с некоторым опережением относительно включения ключа (4), а включение ключей (7) происходит с некоторым запаздыванием относительно включения ключа (3). Применение данных задержек приводит к тому, что замыкание ключевых элементов (7, 8) во всех каскадах коммутации происходит для всех режимов при напряжении, близком к нулю. Потери, возникающие в этой схеме, можно разделить на динамические и статические. Как правило, динамические потери значительно больше статических. Они рассчитываются по формуле:

$$P = CU^2f,$$

где C — паразитная емкость нагрузки, U — рабочее напряжение, f — частота.

При этом для реальных ключевых элементов, таких как последовательно соединенные высоковольтные биполярные, полевые или биполярные транзисторы с изолированным затвором, при введении задержек переключения,

существенно уменьшаются токи разряда их собственных выходных емкостей и, как следствие, снижаются коммутационные (динамические) потери в этих элементах, особенно при высоких частотах следования импульсов модуляции.

Заключение.

Применение данного многоканального импульсного модулятора позволяет независимо модулировать N нагрузок и, в случае применения указанных задержек в коммутации ключей, обеспечивать снижение динамических потерь и, как следствие, уменьшение объема, занимаемого системой охлаждения.

Литература:

1. Полищук, А. Г. Повышение эффективности импульсных модуляторов электровакуумных приборов СВЧ с высокой частотой повторения импульсов / А. Г. Полищук // Компоненты и технологии. — 2004. — № 5.
2. Paul D. Brown, Jeffrey A. Casey. Improvements in Radar Transmitter Performance and Reliability Using High Voltage Solid-State Modulators and Power Supplies. 2002 IEEE International Radar Conference, April 2002.
3. Полищук, А. Г. Вопросы разработки твердотельных импульсных модуляторов для электровакуумных приборов СВЧ / А. Г. Полищук // Современная электроника. — 2005. — № 3.
4. Патент EP019117, (МПК H03K 7/02; H02M). Многоканальный импульсный модулятор. Коновалов С. И.