

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ ДЛЯ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ РЛС

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

Шиш А. Л.

С.И. Коновалов канд-т. техн. наук

В настоящее время в радиолокации для получения СВЧ колебаний высоких уровней мощности используются электровакуумные генераторные и усилительные приборы, такие как клистроны, магнетроны, ЛБВ и др. Чаще всего эти приборы работают в импульсном режиме. Для управления такими приборами необходимы системы импульсного электропитания – модуляторы. В общем случае, модулятор включают в себя мощный высоковольтный ключ и накопитель электрической энергии. В настоящее время наибольшее применение нашли модуляторы с емкостным накопителем. 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 и развитию мощных высоковольтных ключевых транзисторов возникла возможность конструировать малогабаритные импульсные модуляторы с высокими рабочими напряжениями и токами на твердотельных элементах. Современные требования к радиопередающим устройствам СВЧ заставляют искать пути повышения эффективности, надежности, снижения массы и габаритов аппаратуры [1]. Одним из возможных путей повышения эффективности и надежности твердотельных модуляторов является использование многомодульных структур [2].

Цель работы: провести анализ эффективности многомодульных твердотельных импульсных модуляторов для выбора оптимального значения количества модулей, получить аналитические выражения для КПД при ступенчатом заряде и разряде, проверить выполнение энергетического баланса для каждой из исследуемых моделей. В ходе работы производился поиск обобщенных математических выражений для КПД преобразователя со ступенчатой коммутацией, а для их проверки была использована программа схемотехнического моделирования MicroCap, позволяющая также производить анализ переходных процессов.

Получены следующие результаты: КПД на этапе заряда для N модулей определялся как отношение энергии, запасенной эквивалентной емкостью нагрузки, к энергии, потребляемой от источников питания модулей:

$$\eta_{\text{ZN}} = \frac{\sum_{i=0}^N (U_{\text{zi}}^2 - U_{\text{zi-1}}^2)}{2U_n^2 \sum_{i=1}^N N(e^{\frac{t_i}{NRC}} - 1)},$$

где U_{zi} - напряжение заряда на i -й ступени, U_n - напряжение источника питания модуля (были выбраны равные для каждого из модулей), N -количество модулей.

КПД на этапе разряда для N модулей определялся как отношение энергии рекуперации к энергии разряда:

$$\eta_{\text{PN}} = \frac{\sum_{i=0}^N W_{\text{рек}i}}{\sum_{i=0}^N W_{\text{pi}}},$$

где $W_{\text{PN}} = \frac{C}{2} \sum_{i=1}^N (U_{\text{pi-1}}^2 - U_{\text{pi}}^2)$, $W_{\text{рек}} = \int_0^{\text{рек}} U_{\text{ax}} i_{\text{рек}}(t) dt$, где U_{ax} - напряжение источников питания на k -й ступени разряда,

$i_{\text{рек}}(t) = \frac{U_{\text{Cn}} - U_{\text{ax}}}{R_{\text{огр}}} e^{-\frac{t}{\tau_u}}$ - ток рекуперации, где U_{Cn} - напряжение на емкости нагрузки в начале разряда, $R_{\text{огр}}$ - ограни-

тельное сопротивление, τ_u - постоянная времени цепи разряда.

Получение обобщенного математического выражения для энергии рекуперации затруднительно, поскольку на каждой из ступеней разряда меняется постоянная времени цепи и входное напряжение, определяемое суммой источников питания. Поэтому рассматривались отдельные выражения для фиксированных N с их дальнейшей проверкой в среде MicroCap.

Таким образом, полученные выражения и оценка результатов моделирования позволили провести сравнительный анализ эффективности идеальных моделей твердотельных импульсных модуляторов модульной структуры. Результаты позволяют сделать вывод, что с увеличением числа модулей КПД увеличивается, т.к. потери в ограничительных резисторах уменьшаются пропорционально количеству модулей, а энергия, рекуперированная в источник, возрастает. Также с увеличением количества модулей рабочие напряжения на силовых ключах и энергопотребление устройства уменьшаются, однако возрастает сложность и вероятность отказов в устройстве. Это требует решения задачи оптимизации.

Список использованных источников:

1. Полищук А.Г. Повышение эффективности импульсных модуляторов электровакуумных приборов СВЧ с высокой частотой повторения импульсов // Компоненты и технологии, 2004 г., №5.
2. Евразийский патент МПК 019111 РБ/ Коновалов С.И., Польшин Ю.А., Кирячок Г.В., Бондаровец Т.В.; НПООО «ОКБ ТСП» 2014г.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника // Техносфера, Москва, 2005г. - 632с.