

РАЗРАБОТКА ФОРМИРОВАТЕЛЯ КОРОТКИХ РАЗНОПОЛЯРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

О. Л. Сериштанов^{а, б, 1}, В. В. Кобец^{а, б, 2}, А. А. Уланкин^{а, б, 3}

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

^б Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

В настоящее время в Лаборатории ядерных проблем идут работы по вводу в эксплуатацию линейного ускорителя электронов Linac-200. Система ВЧ-питания ускорителя Linac-200 построена с использованием клистронов типа TH2129, максимальное напряжение которых, согласно паспортным данным, достигает 240 кВ. Существующая система питания клистронов может обеспечить лишь 2/3 от максимального напряжения питания, что также ограничивает их максимальную мощность. Предметом исследования являются схемотехнические решения, позволяющие повысить напряжение на модуляторе питания клистронов. В качестве элементов схемотехники создана уникальная схема формирователя коротких разнополярных импульсов.

Currently, the Laboratory of Nuclear Problems is working on the commissioning of the Linac-200 linear electron accelerator. The RF power supply system of the Linac-200 accelerator is built using TH2129 type klystrons, the maximum voltage of which, according to the passport data, reaches 240 kV. The existing klystron power supply system can provide only 2/3 of the maximum supply voltage, which also limits their maximum power. The subject of the study is circuit design solutions that allow one to increase the voltage on the klystron power supply modulator. A short bipolar pulse generator for switching cell drivers has been created as a power management system.

PACS: 29.20.—с

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы обеспечить работу клистрона для системы питания ускорителя Linac-200 [1] с паспортной мощностью 20 МВт, мы разработали новую схему модулятора, в которой вместо полного разряда накопительных линий применяется частичный разряд накопительной емкости. В качестве накопительной емкости используются конденсаторы ячейки генератора Маркса [2]. Ячейка генератора Маркса содержит два оппозитных ключа, переключающих ячейку из режима заряда в режим разряда накопительной емкости. Для управления ключами, а именно для подачи управляющих сигналов на драйверы управления, разработан формирователь коротких разнополярных импульсов. Формирователь работает совместно с разделительным трансформатором, виток которого будет проходить через все ячейки модулятора. Импульсы с формирователя, через одновитковый трансформатор, будут подаваться на драйверы управления в ячейках генератора Маркса.

¹E-mail: seroshtanov@jinr.ru

²E-mail: vkobets@jinr.ru

³E-mail: garin7@list.ru

1. УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАТЕЛЯ

Формирователь коротких разнополярных импульсов представляет собой два полумостовых драйвера, между выходами которых включен виток высоковольтного разделительного трансформатора. Трансформатор, стоящий на входе драйверов, общий для схем управления СУ1 и СУ2 согласно функциональной схеме (рис. 1). Вторичные обмотки изолированы на напряжение более 3 кВ, первичная обмотка, общая для всех 84 ячеек, представляет собой виток проводника, ориентированного по центру трансформаторов таким образом, чтобы максимально допустимое напряжение между первичной и вторичными обмотками, а также напряжение между первичной обмоткой и корпусом ячейки могло достигать 300 кВ. Переключение драйвера из одного состояния в другое происходит с задержкой, определяемой резисторами R2, R5 и конденсатором С3 (рис. 2). Таким образом, на обмотке трансформатора формируется короткий биполярный импульс. Положительный привязан к положительному фронту входного импульса, а отрицательный — к отрицательному.

С целью исключения влияния емкостных токов внутри трансформаторов установлен трубчатый экран, электрически соединенный с корпусом ячейки (на схеме рис. 2 не показан). Короткие биполярные импульсы на вторичных обмотках трансформатора управляют триггером на логических элементах, таким образом формируется импульс необходимой длительности. Причем длительность этого импульса не ограничена вольт-секундным интегралом трансформатора и определяется параметрами входного управляющего импульса. Назначение формирователя коротких импульсов — обеспечить работу разделительного трансформатора с минимально возможным количеством витков и надежно переключать режим работы ячейки от заряда конденсаторов к разряду. То есть через трансформатор передается только информация о начале заряда либо разряда, а длительность импульса на нагрузке может быть сколько угодно большой. Это позволяет реализовать весь процесс передачи информации через

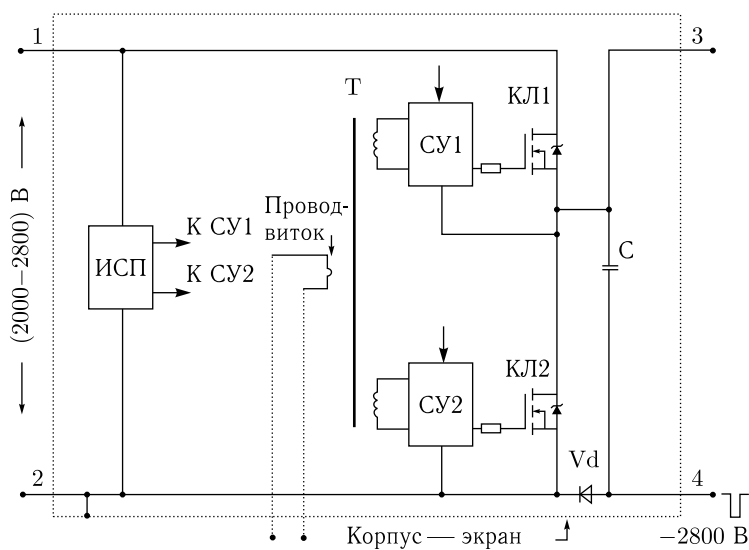


Рис. 1. Схема ячейки генератора Маркса

одновитковый трансформатор, контакты которого подключаются к выводам А, В (см. рис. 2), причем виток представляет собой отрезок провода, проходящий через середины кольцевых трансформаторов, что необходимо для осуществления высоковольтной (300 кВ) изоляции ячеек — изолирование одной ячейки от другой и от общего корпуса изделия.

Как видно из рис. 2, импульсы на элементы задержки поступают через логическую схему на элементах D1, D2, которая представляет собой формирующие схемы синхронного прохождения и разрешает импульсам на входе E1 и E2 срабатывать синхронно с входным импульсом. Входной импульс подается на I.C. — input common, проходя через цепь защиты входа (D5–D8, R8). Элементы DD2 представляют собой D-триггер, тактируемый фронтом через вход С. Кроме того, D-триггер содержит асинхронные инверсные RC-входы, используемые для установки триггера в определенное состояние при подаче питания, для чего служат элементы R1, С1. При включении питания С1 разряжен и подает на вход S — устанавливающий триггер — нулевое запрещающее состояние для входов E1, E2. Когда на обоих входах E состояние единичное, на выходе DD2 устанавливается разрешенное нулевое состояние по отношению ко входам E. Данное состояние устанавливается синхронно с приходом положительного перепада на вход S триггера. Таким образом, с приходом положительного перепада на входе I.C. ячейка DD1.3 разрешает прохождение этого перепада к цепочкам R2–R5, С3, формируя на выходах DD3 короткий положительный импульс. С приходом на вход I.C. отрицательного перепада на выходах DD3 формируется короткий отрицательный импульс соответственно. Эти импульсы поступают на одновитковую обмотку трансформатора, что устанавливает входные триггеры драйверов в определенное состояние. Количество выходных обмоток — 2, они включены в противофазе

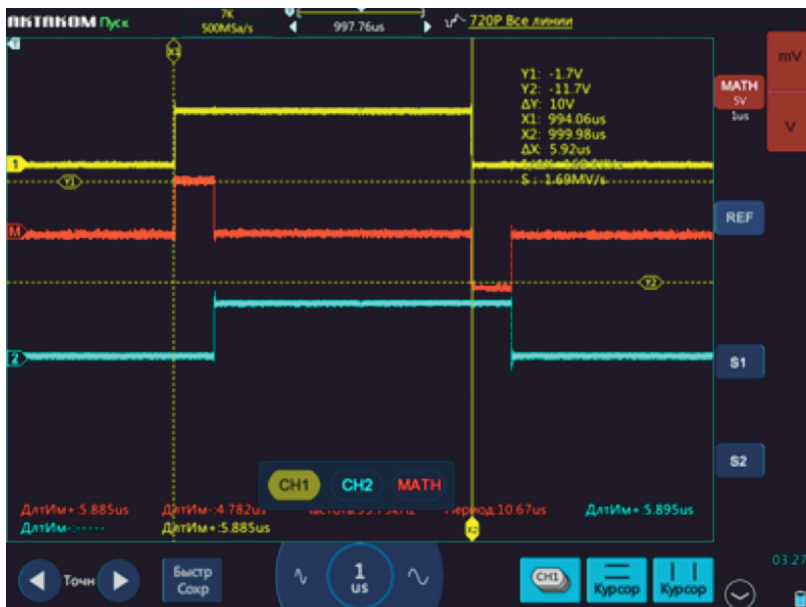


Рис. 3 (цветной в электронной версии). Импульсы формирователя

по отношению к драйверам, что обеспечивает противофазное (оппозитное) переключение высоковольтных транзисторов в стойке генератора Маркса. Схема формирователя выполнена на основе сдвоенного высоковольтного (36 В) двухтактного драйвера Ixddd604 [3]. На входы драйверов подаются сдвинутые по времени прямоугольные импульсы, таким образом между выходами драйверов формируются короткие (примерно 0,5 мкс) биполярные импульсы (рис. 3), которые подаются на общий виток развязывающих трансформаторов. Параметры цепочек на входах драйверов рассчитываются таким образом, чтобы длительности положительного и отрицательного импульсов были равными. Временной интервал между положительным и отрицательным фронтом входного импульса — это время разряда емкостей генератора Маркса (открыты нижние ключи схемы), а время между отрицательным и следующим положительным фронтом входного импульса — это время заряда емкостей генератора Маркса (открыты верхние ключи схемы). Открытие нижних ключей схемы формирует анодный высоковольтный импульс с достаточно крутыми фронтами, поэтому схема управления СУ2 содержит драйвер, усиленный двухтактным эмиттерным повторителем. Логические входы E1, E2 используются как блокировочные и стартовые (см. рис. 2).

2. ПЛАТА ФОРМИРОВАТЕЛЯ

На основании принципиальной электрической схемы была создана схема печатной платы. Минимальная ширина дорожек составила от 0,3 до 1 мм, что укладывается в четвертый класс точности и делает плату сравнительно не сложной и не дорогой в производстве. В качестве компонентов были использованы: одиночный D-триггер — 74LVC1g74, микросхема Ixddd604 — МОП транзисторный драйвер, а также триггер

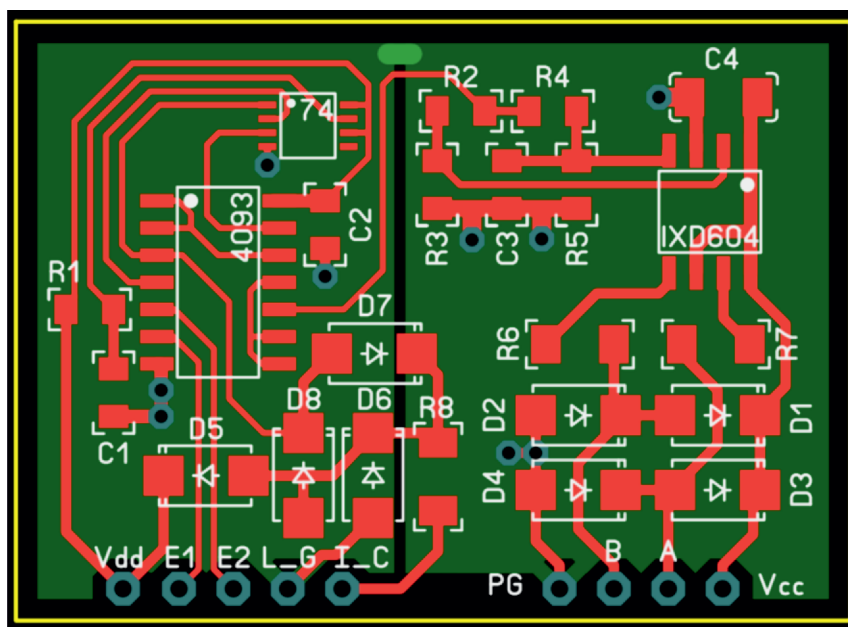


Рис. 4. Схема печатной платы формирователя

Шмитта — CD4093 в качестве переключателя, резисторы и конденсаторы размера 0805 и 1206 для токов выше 0,1 А. Платы устанавливаются в общую для нескольких изделий материнскую плату с помощью 9 выводных штырей, назначение каждого подписано шелкографией на рис. 4. Плата разделена на две части: силовую и цифровую. Разделение выполнено с помощью 0,3-мм разреза в центре платы. Все остальное пространство с обратной стороны платы представляет собой «землю», выполненную с помощью сплошной заливки медного полигона. Левая часть логическая, правая силовая, на каждой установлен соответствующий заземляющий вывод. Все выводы металлизированы. Отдельного внимания заслуживают 4 диода в правой части платы. Они служат для фиксации выброса обратного напряжения в одновитковом трансформаторе, что исключает появление колебаний на стоках выходных транзисторов драйвера Ixddd604.

Параметры импульсов:

- амплитуда — 36 В;
- длительность чередующихся импульсов 6 мкс;
- длительность разнополярных импульсов 1 мкс, частота 1–100 Гц.

На осциллограмме видно, что между первым и вторым импульсом есть задержка порядка 1 мкс. Ввиду того, что импульсы сдвинуты относительно друг друга на величину задержки, импульс между контактами будет разнополярным — происходит вычитание импульсов, получившийся импульс отмечен красным цветом на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и собран формирователь разнополярных импульсов, проведена проверка его работоспособности. В дальнейшем результаты данной работы будут использоваться для модернизации системы питания клистронов. Формирователь обеспечит надежное управление процессом заряда и разряда всех 84 ячеек генератора Маркса. После внедрения ячеек в систему питания станет возможным увеличение напряжения питания клистрона со 160 до 240 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trifonov A. et al.* Linac-200: A New Electron Test Beam Facility // Proc. 41st Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP2022). PoS. 2022. V. 414. P. 1094–1098.
2. *Пичугина М. Т.* Высоковольтная электротехника. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 136 с.
3. *Семенов Б. Ю.* СЗО силовая электроника: профессиональные решения. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. 416 с.; ил. (Компоненты и технологии).

Получено 20 марта 2025 г.