

...РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 810 648** (13) **C1**

(51) МПК
H01S 3/093 (2006.01)
H03K 3/53 (2006.01)
(52) СПК
H01S 3/093 (2023.08)
H03K 3/53 (2023.08)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

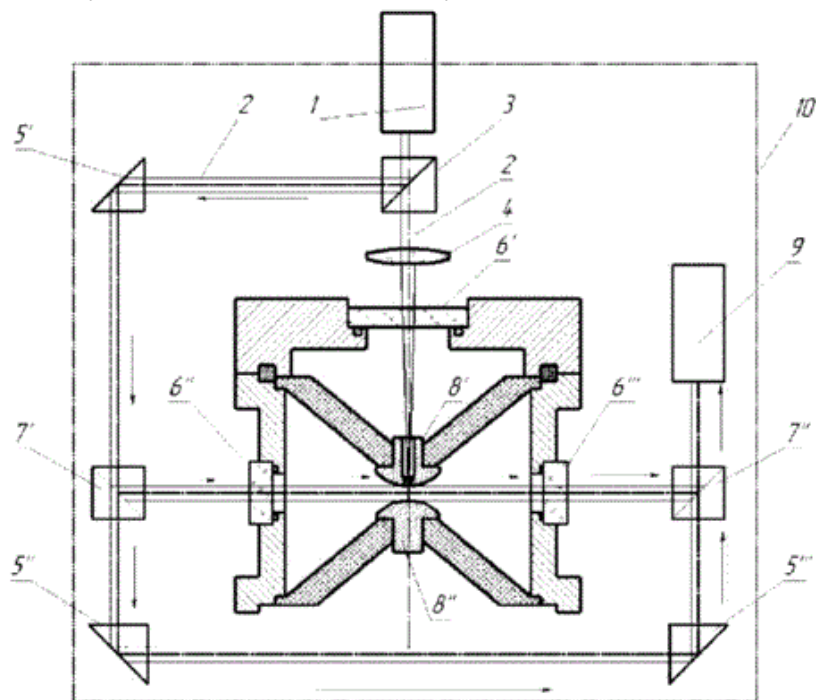
Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.01.2024)
Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 20.07.2024 по 19.07.2025. При
уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 20.07.2025 по 19.01.2026
размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2023119047**, 19.07.2023(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.07.2023Дата регистрации:
28.12.2023Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **19.07.2023**(45) Опубликовано: **28.12.2023** Бюл. № **1**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2689297 C1, 27.05.2019. RU**
2236074 C2, 10.09.2004. US 8792522 B2,
29.07.2014. RU 2029423 C1, 20.02.1995.Адрес для переписки:
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена,
106, ФГБУН ИЭ УО РАН, Чайковский
Станислав Анатольевич(72) Автор(ы):
Липчак Александр Иванович (RU)(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт
электрофизики Уральского отделения
Российской академии наук (RU)(54) **Способ формирования импульсов синхронизации высоковольтного разрядника с лазерным запуском и устройство для его реализации**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области импульсной высоковольтной техники, и предназначено для получения импульсов синхронизации лазерных управляемых разрядников, используемых в качестве первичных коммутаторов сильноточных импульсных электрофизических устройств, в частности в импульсных ускорителях электронов или высоковольтных генераторах. Способ формирования импульса синхронизации высоковольтного импульсного разрядника с лазерным запуском включает использование части запускающего лазерного излучения для зондирования разрядного промежутка. Зондирующее излучение поступает в интерферометр, оптическая ось измерительного плеча которого проходит через разрядный промежуток, а опорное плечо настроено для обеспечения деструктивных условий интерференции. Тем самым обеспечивается отсутствие оптического сигнала в состоянии ожидания срабатывания разрядника. При появлении плазмы в разрядном промежутке происходит рассогласование этого условия за счет сдвига фазы излучения и/или его поглощения в измерительном плече интерферометра. Это приводит к появлению оптического сигнала, который преобразуется в электрический сигнал синхронизации. Технический результат - повышение точности синхронизации

не хуже десятков пикосекунд. 2 н. и 3 з.п. ф-лы, 1 ил.



Фиг. 1

Область техники

Изобретение предназначено для синхронизации работы устройств с сильноточными импульсными электрофизическими установками, в частности, это могут быть генераторы наносекундных или субнаносекундных импульсов, а также ускорители электронов. Изобретение может быть использовано в исследовательских электрофизических установках для синхронизации измерительных комплексов и аппаратуры с субнаносекундной точностью.

Уровень техники

Точную синхронизацию внешних устройств с ускорителем электронов можно осуществить за счет использования собственно пучка электронов, который формирует сигнал в датчике тока пучка. Этот сигнал распространяется, в свою очередь, по кабельным или оптическим (при преобразовании) линиям связи. Для запуска синхронизируемого устройства, как правило, необходимо некоторое, так называемое, мертвое время срабатывания. Это время важно учитывать при синхронизации аппаратуры в наносекундном и субнаносекундном диапазоне времен [Иванов С.Н., Шпак В.Г., Шунайлов С.А., Яландин М.И. Приборы и техника эксперимента, 2000. № 5, С. 51-55]. Если скорость пучка электронов существенно меньше скорости сигнала (скорости распространения сигнала в кабеле и оптической линии связи), то принципиально можно получить необходимую задержку для запуска/синхронизации внешнего устройства за счет разности их скоростей. Однако такой подход трудно реализовать для быстрых, например, релятивистских пучков заряженных частиц. Также, такой подход сложно использовать в силу приблизительного равенства скоростей распространения сигналов, если необходимо синхронизовать устройство с сильноточным импульсным генератором (т.е. с импульсом тока). Для решения этой проблемы был предложен метод точной синхронизации [Способ синхронизации устройств в накопительных электронных синхротронах источников синхротронного излучения: пат. 2689297 РФ: МПК H04W 56/00, H05H13/04; заявл. 27.05.2018], когда перед точным по времени импульсом синхронизации от датчика тока пучка электронов подается предварительный, но менее точный импульс. Главным недостатком такого метода является сложность системы синхронизации.

Ближайшим аналогом (прототипом) заявляемого способа является способ

синхронизации, используемый в системе синхронизированного запуска лазера мягкого рентгеновского диапазона. Этот способ включает использование разрядника с лазерным управлением. [Method and apparatus for synchronized starting of soft x-ray lasers: пат. 8792522 В2 США: МПК H01S 3/30; заявл. 28.07.2014]. Система также содержит трансформатор тока, который используется для окончательного формирования импульса запуска (синхронизации) системы. Использование трансформатора тока, ввиду принципиально индуктивной природы данного элемента, является основным недостатком используемого метода. Во-первых, он ограничивает время нарастания (передний фронт) сигнала, а значит, снижает точность включения. Точность включения прототипа составляет +/- 10 нс, что неудовлетворительно, при использовании метода в наносекундном или в субнаносекундном диапазоне времен. Во-вторых, это приводит к задержке формирования импульса синхронизации. В-третьих, его наличие в условиях высокого уровня электромагнитных помех может привести к случайным срабатываниям.

Раскрытие сущности

Техническим результатом настоящего изобретения является решение обозначенной выше технической проблемы - сокращение неопределенности при определении момента срабатывания сильноточных импульсных электрофизических устройств до уровня не более десятков пикосекунд. Было показано [Липчак А.И., Баряхвостов С.В. Приборы и техника эксперимента, 2021, № 3, с. 40-44], что непосредственная синхронизация с запускающим лазерным импульсом приводит к нестабильности включения разрядника порядка 300 пс, и более. Одна из причин данного эффекта состоит в том, что транспортные и оптические свойства вещества, на которое воздействует излучение лазера, формируя плазму в разряднике, может претерпевать сильные изменения. Это приводит к «дрожанию» срабатывания разрядника с лазерным запуском. [Volkov N.B., Lipchak A.I. Condensed Matter, 2022, vol. 7, No. 4, p. 61-74] Для достижения указанного технического результата предложен способ формирования импульсов синхронизации высоковольтного разрядника с лазерным запуском, заключающийся в том, что часть запускающего лазерного излучения используется для зондирования разрядного промежутка. В этом случае синхронизацию необходимо связать с перекрытием разрядного промежутка, обеспечивающим протекание через него тока, т.е., появлением в нем плазмы. Кроме того, данный подход позволяет сформировать импульс синхронизации на начальном этапе формирования высоковольтного импульса или импульса электронов, поскольку высоковольтный разрядник является первичным коммутатором широком классе высоковольтных импульсных генераторов [Месяц Г.А., Яландин М.И., УФН, 2005, т. 175, № 3, С. 225-246]. Тем самым решается проблема мертвого времени необходимого для запуска синхронизируемых устройств, которая, вообще говоря, имеет свой собственный разброс, и, соответственно, влияет на точность синхронизации. При этом исключается необходимость предварительного запуска синхронизируемых устройств. Также было показано, что нестабильность, связанная с внутренними процессами функционирования таких генераторов, исключая этот первичный коммутатор, не превышает 25 пс. [Yalandin M., Sharypov K.A., Shpak V.G., Shunailov S.A., Mesyats G.A. IEEE Trans. on Diel and Elec. Ins. 2010. Vol. 17, No 1. P. 34] Кроме того, повышается устойчивость устройств к случайным срабатываниям в условиях высокого уровня электромагнитных помех за счет использования не электрических, а оптических элементов при непосредственном контакте с сильноточной импульсной техникой, что тоже повышает общую точность синхронизации.

Известно, что плазма, созданная лазерным излучением, поглощает это излучение. [Meyerand R.G., Naught A. F. Physical Review Letters, 1964, 13(1), p. 7-9] Если зондирующее излучение поступает в интерферометр, сконструированный так, что его измерительное плечо проходит через область возможного появления плазмы, а опорное плечо настроено для обеспечения деструктивных условий интерференции [стр. 355, Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.], то можно определить момент ее возникновения. Такая настройка интерферометра будет обеспечивать отсутствие сигнала в режиме ожидания перекрытия разрядного промежутка плазмой, т.е. до его включения. В случае же появления плазмы в

разрядном промежутке, т.е., при включении высоковольтного разрядника, происходит рассогласование этого условия за счет сдвига фазы излучения за очень короткие времена вплоть до фемтосекундного диапазона [Агранат М.Б., Андреев Н.Е., Ашитков С.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 85:6, 2007, 328-333] и/или за счет частичного или полного поглощения излучения (см. ссылку Meyerand, выше) в измерительном плече интерферометра. Это приводит к появлению интенсивного оптического сигнала, который, например, можно преобразовать в электрический сигнал с помощью широкополосных полупроводниковых детекторов с полосой до нескольких десятков гигагерц для последующей передачи в виде электрического сигнала, который используется для синхронизации.

При проведении анализа уровня техники, включающего поиск по патентным и научно-техническим источникам и выявлении источников, содержащих сведения об аналогах заявленного изобретения, характеризующихся признаками, тождественными всем существенным признакам данного изобретения, таких аналогов не обнаружено. Определение из перечня выявленных аналогов прототипа как наиболее близкого по совокупности существенных признаков аналога, позволило выявить совокупность существенных отличительных признаков от прототипа, изложенных в формуле изобретения. Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию «новизна».

Для проверки соответствия заявленного изобретения условию «изобретательский уровень» заявитель провел дополнительный поиск известных решений, чтобы выявить признаки, совпадающие с отличительными от прототипа признаками заявленного способа и реализующего его устройства. В результате поиска не выявлены технические решения с этими признаками. На этом основании можно сделать выводы о соответствии заявляемого изобретения условию «изобретательский уровень».

Упрощенная принципиальная схема устройства, реализующего предлагаемый способ, поясняется чертежом (фиг. 1):

- 1 - лазер,
- 2 - излучение лазера,
- 3 - делитель пучка лазерного излучения,
- 4 - система фокусировки запускающего пучка лазерного излучения,
- 5 - поворотные элементы (призмы или зеркала),
- 6 - оптические окна высоковольтного разрядника,
- 7 - делитель/объединитель, пучков лазерного излучения интерферометра,
- 8 - электроды,
- 9 - датчик оптического сигнала,
- 10 - оптическая платформа.

Устройство, реализующее заявляемый способ, содержит окно 6' для ввода лазерного излучения и соосно расположенные электроды 8, выполненные в форме тел вращения, которые размещены в герметичном корпусе, заполненном газом с давлением от 0,1 МПа до 10 МПа. Устройство также содержит запускающий лазер 1, делитель лазерного излучения 3, который расщепляет пучок лазерного излучения 2 на два луча. Первый служит для создания плазмы на одном из электродов высоковольтного разрядника 8 сквозь оптическое окно 6' и соосное отверстие в другом электроде. Второй луч используется для интерферометрического зондирования плазмы в разрядном промежутке. Для этого устройство содержит интерферометр, собранный на оптической платформе 10, которая смонтирована на одном из фланцев высоковольтного разрядника. Интерферометр образован поворотными элементами 5, делителем пучка лазерного излучения 7' и элементом 7'', объединяющим разделенные лазерные пучки. Интерферометр содержит измерительное плечо, оптическая ось которого проходит через разрядный промежуток сквозь 6'' и 6''' с использованием оптических элементов 7' и 7''. Плечо, формирующее опорный луч интерферометра, сформировано элементами 7', 5', 5'', 7'' (фиг. 1.).

Способ осуществляется следующим образом.

Первоначально, интерферометр настраивается так, чтобы разность фаз опорного и

измерительного лучей составляла π , другими словами, излучение двух пучков приходило на датчик оптического сигнала 9 в противоположных фазах, за счет чего реализуется деструктивная интерференция. Импульс лазерного излучения фокусируется с помощью системы фокусировки 4 на поверхности электрода 8". В результате этого появляется плазма, за счет ее возникновения условие деструктивной интерференции нарушается из-за изменения показателя преломления среды разрядном промежутке и/или полного или частичного поглощения излучения измерительного луча из-за появления плазмы в разрядном промежутке. Это обеспечивает возникновение оптического сигнала на датчике, который используется для формирования электрического импульса синхронизации, задержка которого определяется временем нарастания переднего фронта датчика и составляет менее 40 пс. Заявляемый способ был проверен экспериментально.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о выполнении следующей совокупности условий при использовании заявляемого способа:

1. Процесс, реализующий заявленный способ, предназначен для использования в высоковольтной импульсной технике для точной синхронизации устройств.
2. Для заявляемого способа и устройства, в том виде, в котором он приведен в формуле изобретения, подтверждена возможность его осуществления.

Формула изобретения

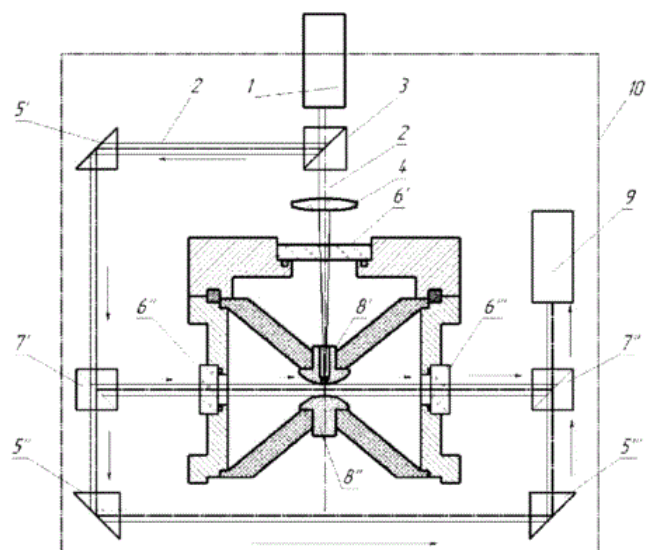
1. Способ формирования импульса синхронизации высоковольтного разрядника с лазерным запуском, заключающийся в использовании части запускающего лазерного излучения для зондирования разрядного промежутка, поступающего в интерферометр, измерительное плечо которого проходит через разрядный промежуток, а опорное плечо, которого настроено для обеспечения деструктивных условий интерференции, что определяет отсутствие оптического сигнала в состоянии ожидания срабатывания высоковольтного разрядника, и вызывает его появление при возникновении плазмы в разрядном промежутке за счет рассогласования этого условия.

2. Устройство формирования импульса синхронизации высоковольтного разрядника с лазерным запуском, содержащее окно для ввода лазерного излучения в разрядный промежуток, соосно расположенные электроды, размещенные в герметичном корпусе, заполненном газом с давлением от 0,1 МПа до 10 МПа, отличающееся тем, что оно содержит делитель запускающего лазерного излучения, расщепляющий пучок лазерного излучения на два луча, первый из которых используется для создания плазмы на одном из электродов высоковольтного разрядника, а второй - для интерферометрического определения наличия плазмы в разрядном промежутке.

3. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что содержит интерферометр, оптическая ось измерительного плеча которого проходит через разрядный промежуток.

4. Устройство по п. 3, отличающееся тем, что интерферометр настроен для формирования деструктивных условий интерференций в режиме ожидания разряда в разрядном промежутке устройства.

5. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что импульс синхронизации формируется за счет появления оптического сигнала из-за нарушения условия деструктивной интерференции при появлении плазмы в разрядном промежутке.



Фиг. 1