

Описание системы впуска/выпуска Накопителя-охладителя ВЭПП5

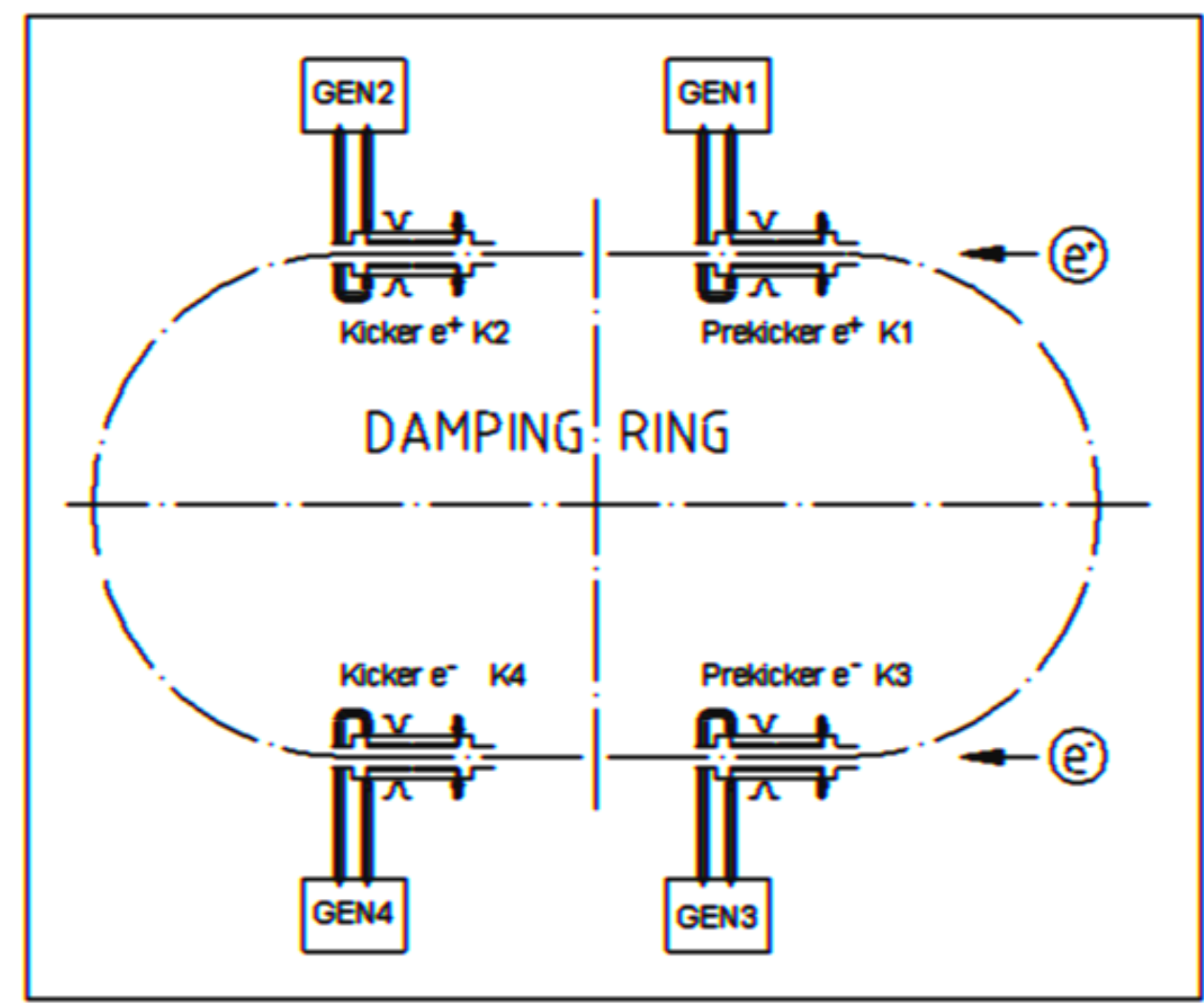
В накопителе-охладителе используется однооборотная одногустковая инжекция с предударом накопленного пучка. Одни и те же кикеры используются и для предудара, и для выпуска. Кикеры удара и предудара установлены симметрично относительно септум-магнита на расстоянии половины длины волны бетатронных колебаний.

Кикеры накопителя-охладителя выполнены в виде симметричных полосковых линий. Каждый кикер питается парой импульсов противоположной полярности. Период обращения пучка 90 нс, поэтому длительность импульса должна быть менее 180 нс. Для установления удара длительность полочки импульса питания должна быть больше времени пробега волны по пластине + время пролета пучка вдоль пластины + нестабильность источника питания.

Параметры питания кикеров накопителя-охладителя ВЭПП-5

Регулировка напряжения импульса питания кикера	10-100%
Длина пластины кикера (м)	1,1
Длительность полочки, min (нс)	20
Длительность импульса по основанию, max (нс)	180
Допустимый обратный выброс (%)	5
Напряжение/ток в импульсе (кВ/кА)	50/2
Волновое сопротивление пластины кикера (Ом)	50
Частота следования импульсов, max (Гц)	50
Нестабильность срабатывания генератора (нс)	+/-2

Генераторы для питания кикеров выполнены по схеме искусственных двойных формирующих линий (ДФЛ) типа Бломляйна. В качестве коммутаторов используются водородные тиратроны типа ТГИ1-2500/50. Каждый генератор включает в себя зарядное устройство и два формирователя на ДФЛ, которые вырабатывают пару разнополярных импульсов и питают соответствующую пару пластин одного кикера.



Генераторы кикеров Накопителя-охладителя

Некоторые аспекты эксплуатации высоковольтных источников питания на водородных тиратронах

С момента ввода в эксплуатацию ВЭПП2000 и Инжекционного комплекса ВЭПП5, для впуска и выпуска заряженных частиц в них, использовались полосковые кикеры с источниками питания на водородных тиратронах. В процессе модернизации системы питания высоковольтные источники питания были заменены на новое поколение, сделанное на твердотельных компонентах.

Тиратроны позволяют работать в необходимом диапазоне частот и напряжений. Стабильность выходного импульса можно поднять, используя стабилизатор питания накала/накала водорода, а так же импульс предионизации сетки. Для используемых на ВЭПП5 ТГИ1-2500/50 долговременная стабильность ±4нс.

Коллайдер ВЭПП2000 работает по заказу детекторов КМД и СНД при энергии от 150 МэВ до 1 ГэВ. Для инжекции частиц в кольцо, необходимо иметь амплитуду импульса питания кикера соответствующей энергии пучка. В случае значительной перестройки по напряжению требуется предпринимать меры по регулировке питания генератора водорода, а так же в некоторых случаях устанавливать ФНЧ на сетку тиратрона для уменьшения наведенного от накопленного пучка частиц сигнала. Это требует регулировки всей системы питания после каждой перестройки по энергии, для получения стабильности до ±1нс. Сложность использования тиратронов в режиме однократного запуска заключается также в изменении температурного режима самого прибора. Непосредственно перед срабатывания на пластину кикера необходимо сделать несколько пробных выстрелов, и скорректировать задержки запусков. В этом могла бы помочь система обратной связи. Также значительно ухудшается форма импульса при изменении амплитудного значения более чем в 2 раза.

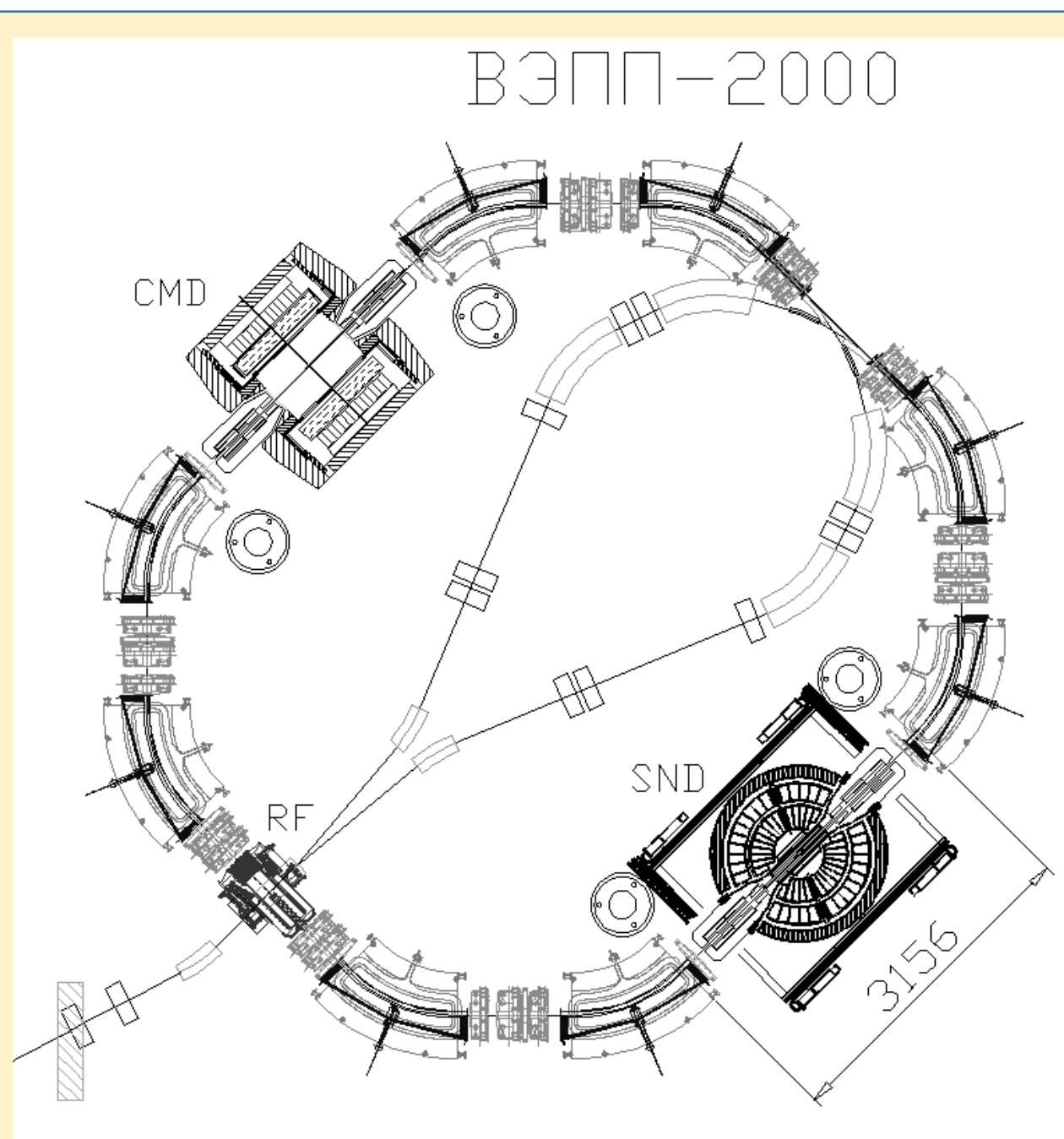
Для улучшения стабильности, надёжности и удобства эксплуатации мы сделали переход на новый тип источников основанных на новом типе полупроводниковых ключей FID. Главное достоинство FID - время включения 0.1-10нс (в зависимости от напряжения, тока и т.п.). Рабочие напряжения могут быть от 1кВ до нескольких десятков киловольт. Основное направление разработок FID-замена тиратронов и разрядников. Новые блоки были протестированы и в настоящее время монтируются для эксплуатации на установках. Мы избавляемся от системы высоковольтной зарядки, включающей в себя Аккорды/ГИД25 с высоковольтными трансформаторами, формирующими линиями и тиратронами, системами накала, водяного охлаждения тиратронов, а также сокращаем количество сигналов запуска. Для управления источником по CAN линии, достаточно одного сигнала запуска. Возможно управление в ручном режиме с внутренним или внешним запуском. Для оператора кратковременное пропадание электропитания сводится, вместо проверки и включения заново всех подсистем, к разрешению работы источника в программе.



Новый разъем с элегазовой изоляцией под кабель РК50-24-17
Основная работа по механической интеграции новых источников в существующую систему состоит в разработке нового вида разъёма передающего кабеля типа РК50-24-17. Для уменьшения потерь при транспортировке сигнала на Накопителе-охладителе стойки с компактными источниками питания расположены внутри кольца и короткими отрезками кабеля подключены к кикерам.

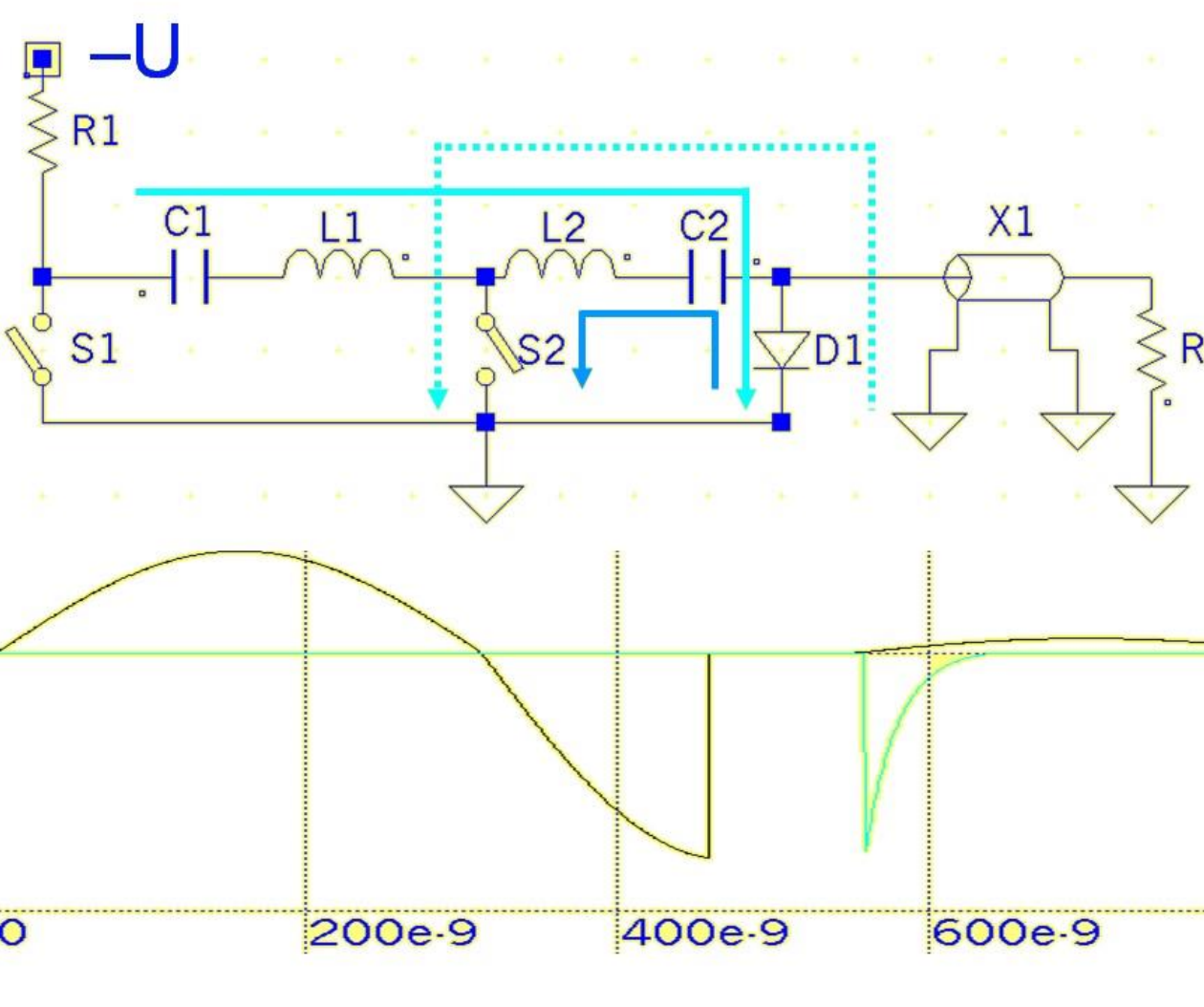
Описание системы впуска коллайдера ВЭПП2000

В коллайдере для накопления электронов и позитронов используется инжекция с предударом накопленного пучка. Из-за недостатка свободного места, кикеры размещены внутри поворотных магнитов. Одни и те же кикеры используются и для предудара, и для удара при инжекции e-/e+. В дополнении к ним, для работы на энергии выше 800МэВ, симметрично через половину кольца установлены дополнительные пластины удара, добавляющие компенсацию поперечных колебаний. Для e+/e- используются правый и левый каналы инжекции. Частицы влетают в противоположных направлениях. Соответственно для каждого сорта частиц по ходу движения накопленного пучка, относительно места инжекции, первый кикер будет предударом, а второй ударом. Кикеры работают в режиме встречной бегущей волны, поэтому кроме переключения полярности источника питания необходимо переключать еще и направление распространения электромагнитной волны. Источники питания подключены к пластинам через механический коммутатор, позволяющий подать на пластину кикера сигнал нужной полярности в направлении противоположном движению инжектируемого пучка.



Параметры питания кикеров коллайдера ВЭПП2000

Регулировка напряжения импульса питания кикера	10-100%
Длина пластины кикера (м)	1,2
Длительность полочки, min (нс)	20
Периметр кольца (м)	24
Допустимый обратный выброс (%)	5
Напряжение/ток в импульсе (кВ/кА)	75/1,5
Волновое сопротивление пластины кикера (Ом)	50
Частота следования импульсов, max (Гц)	1
Нестабильность срабатывания генератора (нс)	+/-1

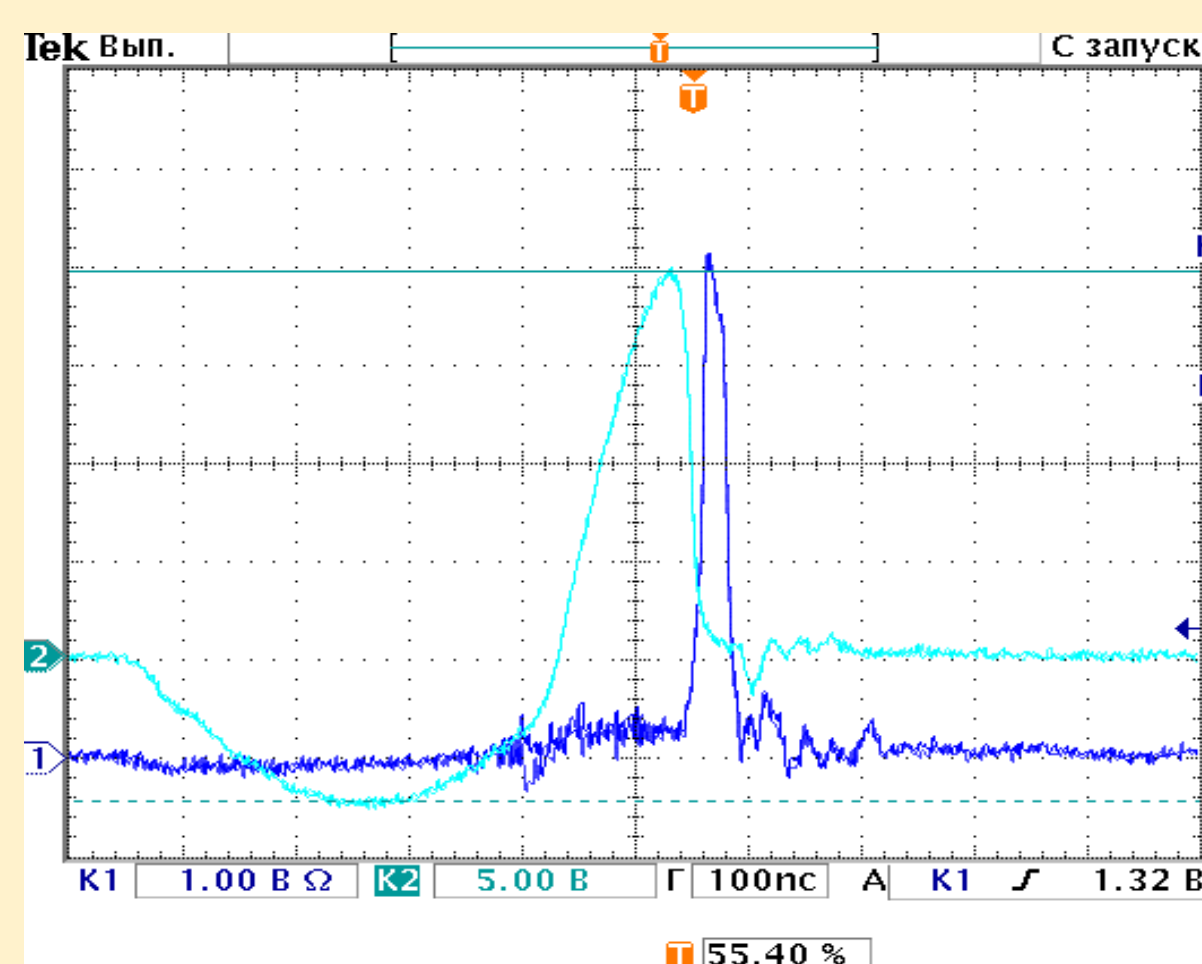


Типичная схема с накоплением тока в индуктивности и последующего обрыва в диоде с режимом восстановлением

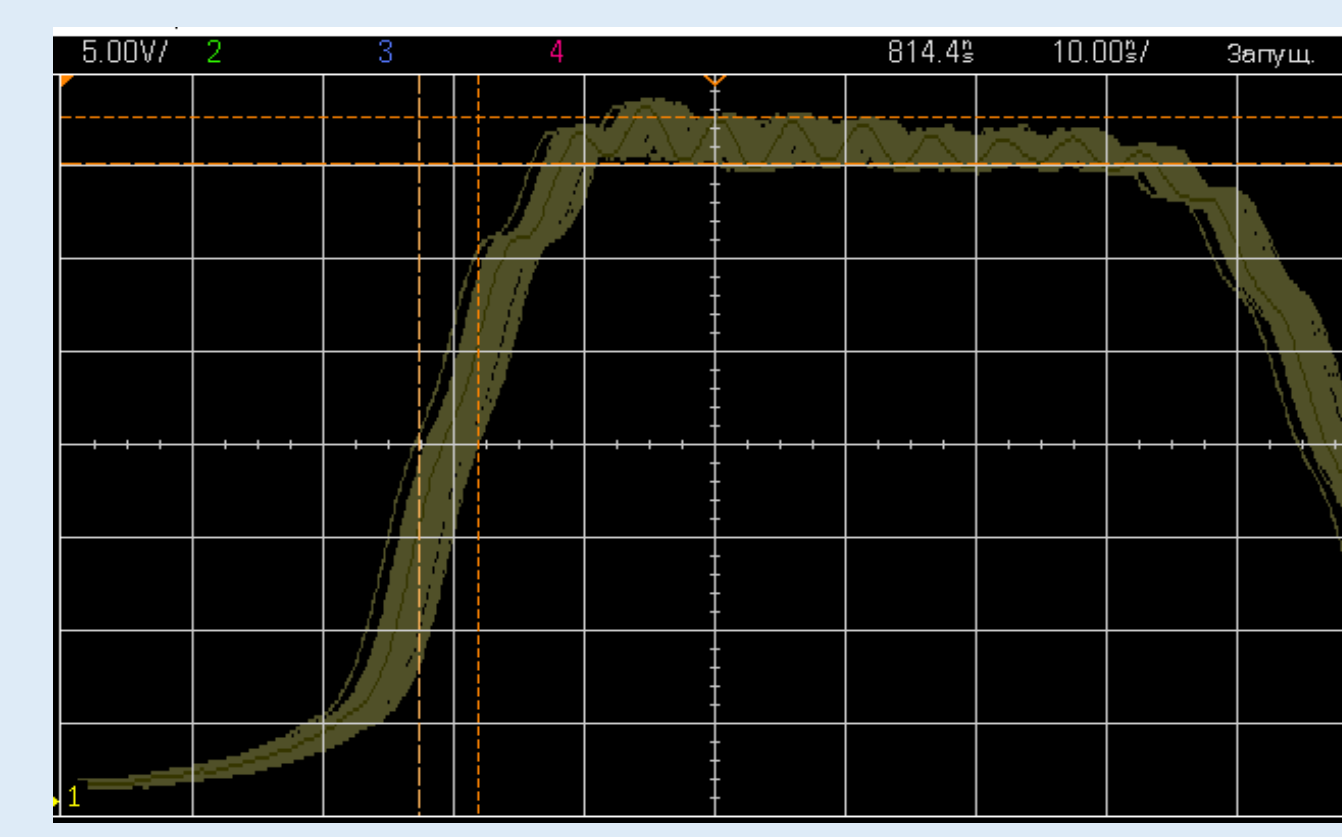
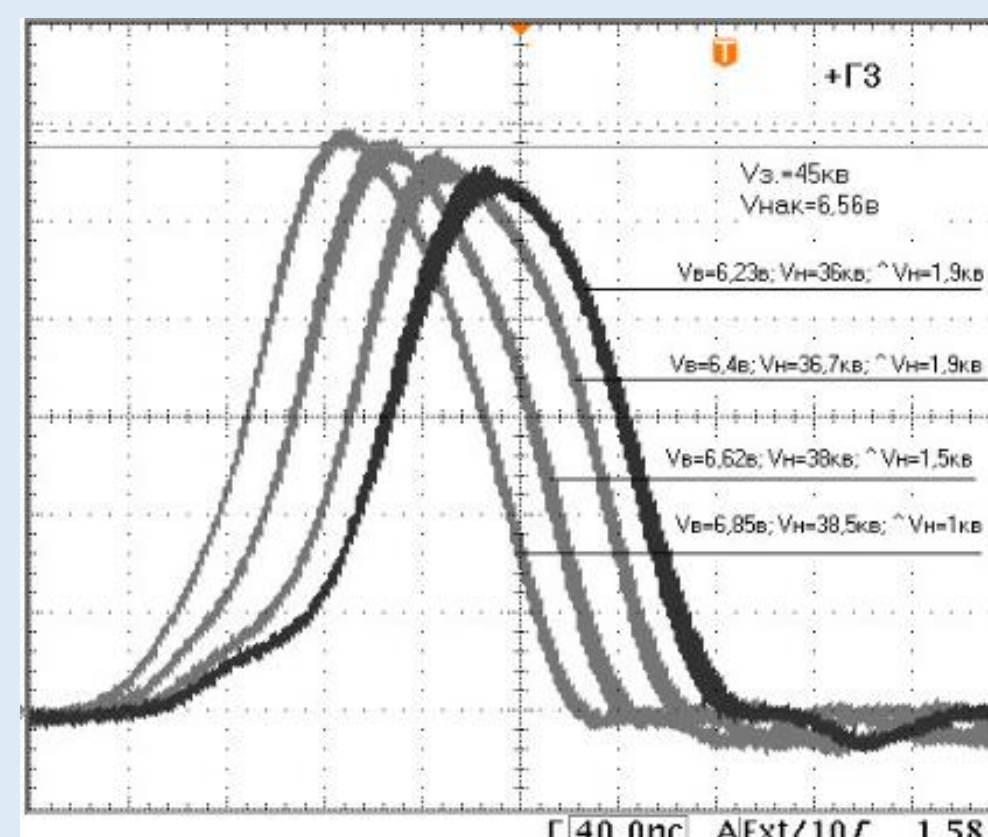
Для питания кикеров ВЭПП2000 рассматривались несколько вариантов источников питания, в результате остановились на схеме быстрого обрыва накопленного в индуктивности тока.

За основу взяли материалы разработки SOS-диодов, представляющие собой мощные твердотельные наносекундные прерыватели тока высокой плотности. Института электрофизики УрО РАН.

Схема работы такого источника основана на: обрыве тока в SOS диоде, в результате чего на нагрузке формируется импульс напряжения с экспоненциальным спадом. Для формирования квазипрямоугольного импульса применяются цепи коррекции второго порядка, что позволяет применять такую схему для отклонения пучка.



Импульсы тока через диод и напряжения на нагрузке



Сигнал питания кикера накопителя-охладителя ВЭПП5 старый и новый



Новые источники для ВЭПП2000 и ВЭПП5

Список литературы

[1] Butakov, A.I.; Grishanov, B.I.; Podgorny, F.V. Injection System To Damping Ring Of An Electron-positron Injection Complex Vepp5 //19th Russian Accelerator Conference, Dubna, Russian Federation, 4 - 9 Oct 2004, pp.255
 [2] New solid state opening switches for repetitive pulsed power technology. S.K.Lyubutin, G.A.Mesyats, S.N.Rukin, B.G.Slovikovskii, A.M.Turov. //In Proc.: XI Int. Conf. on High Power Particle Beams., Prague, Czech Republic, 1996, V.1 P. 135-138.
 [3] Рукин С.Н. Генераторы мощных наносекундных импульсов с полупроводниковыми прерывателями тока (обзор) // Приборы и техника эксперимента. 1999. № 4. С. 5-36.
 [4] B.I. Grishanov, F.V. Podgorny, A.S. Kasaev. SOS-DIODE BASED PULSER FOR THE INJECTION SYSTEM OF THE COLLIDER VEPP-2000 //Proceedings of EPAC 2004, Lucerne, Switzerland