



Рисунок 2 – Траектория качаний маятника с максимальной амплитудой

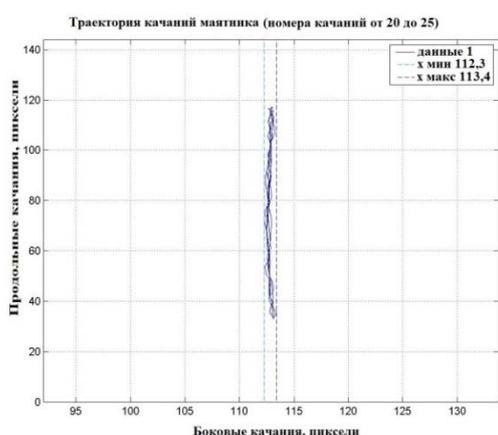


Рисунок 3 – Траектория качаний маятника

Проведенные экспериментальные исследования показали, что маятник сбалансированный по приведенной методике, характеризуется устой-

чивыми колебаниями в одной плоскости и уровень влияние вибраций основания на период колебаний маятника для данной конструкции маятника оказался значительно ниже, чем в маятниках, в которых условия невозмущаемости не соблюдалось.

### Литература

1. Менделеев, Д.И. Опытное исследование колебания весов и возобновление прототипа или основной образцовой русской меры массы в 1893-1898 гг. / Д.И. Менделеев. С предисл. М.А. Шателена. – Л. Гос. науч.-техн. изд-во, Ленхимсектор, 1931. – 302 с.
2. Herbert, E.G. Some Recent developments in hardness testing / E.G. Herbert // The Engineer. – 1923. – Vol. 135. – P. 686–687.
3. Авдеев, Б.А. Испытательные машины и приборы / Б.А. Авдеев. – М.: Машгиз, 1957. – 354 с.
4. Halama, R. Mechanics of Herbert Pendulum Hardness Tester and its Application / R. Halama [et al.] // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2017. – Vol. 741. – P. 122–127. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.741.122>.
5. Matsubara, M. Improved Herbert hardness tester / M. Matsubara and K. Sakamoto // Experimental Techniques. – 2012. – Vol. 36. – №. 3. – P. 73–76. [doi:10.1111/j.1747-1567.2011.00736.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2011.00736.x).
6. Suzuki, R. Hardness Measurement for Metals Using Lightweight Herbert Pendulum Hardness Tester With Cylindrical Indenter / R. Suzuki [et al.] // Experimental Techniques. – 2016. – Vol. 40. – №. 2. – P. 795–802. [doi:10.1111/ext.12121](https://doi.org/10.1111/ext.12121).
7. Heins, R.W. An Evaluation of the Rehbinder-Kuznetsov Pendulum Technique In Hardness Measurements / R.W. Heins and N. Street // Society of Petroleum Engineers Journal. – 1965. – Vol. 5, №. 02. – P. 177–183. <https://doi.org/10.2118/1048-PA>.
8. ГОСТ 5233-89. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору. – Введен: 01.01.1990. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 5 с.

УДК 621.83.52

## УСТРОЙСТВА РАЗВЯЗКИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОМЕХ СО СТОРОНЫ МОЩНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Смолина Е.В.

ФГБУН «Институт лазерной физики» СО РАН  
Новосибирск, Российская Федерация

При запуске энергетического оборудования, входящего в состав установки для моделирования процессов солнечной плазмы КИ-1 ИЛФ СО РАН, в процессе проведения эксперимента, возникает проблема, обусловленная воздействием окружающей электромагнитной обстановки на систему транспорта импульсов синхронизации измерений. Следствием такого воздействия является несвоевременное срабатывание измерительного оборудования, которое приводит к ложным запускам регистрирующих систем и срывам процесса измерения.

В настоящее время система транспорта импульсов синхронизации измерений (триггера) на установке КИ-1 ИЛФ СО РАН выполнена на основе коаксиального кабеля, сами импульсы триггера генерируются секвенсором на основе генераторов задержанных импульсов ГЗИ-6, размещенных в защищенном зале. Этот же секвенсор генерирует импульсы зажигания водородных тиратронов силовых цепей установки. Для ограничения величины наведенного на оплетку кабеля тока используется дополнительное экранирование, а для ограничения области растекания

наведенного тока используется развязывающее устройство на основе разделительного импульсного трансформатора. Однако, достигнутый уровень надёжности запуска измерительной аппаратуры оказался недостаточным, т.к. заметная часть измерений происходила не по триггеру, а по помехе от срабатывания тиратронов, в связи с чем было необходимо уменьшить проникновение помехи, не ухудшая точность привязки измерений к триггеру. При анализе ситуации было выявлено, что основной проблемой является неидеальность применяемого развязывающего трансформатора, а именно, паразитная ёмкость между витками и обмотками [1].

Под действием утечек мощности со стороны энергетических систем, в кабеле наводятся токи, которые можно разделить на две группы: токи, наведённые на внешней стороне оплётки кабеля и токи, наведённые на внутренней поверхности оплётки и поверхности жилы кабеля. Паразитная ёмкость позволяет напряжению помехи, наводимому на наружной стороне оплётки кабеля, проникать в виде тока на его внутреннюю сторону, т.е. преобразует синфазную помеху в дифференциальную [2]. При типичной для применяемых на КИ-1 ИЛФ СО РАН тиратронах скорости нарастания напряжения  $10^{10}$  В/сек и паразитной проходной ёмкости трансформатора 1 пФ, ток дифференциальной помехи составит 10 мА на каждый Вольт синфазной помехи, а соответствующее эквивалентное сопротивление проникновения будет составлять величину порядка 100 Ом. Для среды с характеристическим волновым сопротивлением 50 Ом это означает, что коэффициент проникновения помехи имеет значение приблизительно  $-10$  дБ, что и объясняет неудовлетворительную работу цепей синхронизации измерительной аппаратуры. На рисунке 1 приведены осциллограммы для выходного сигнала широкополосного импульсного трансформатора. Луч C1 – выходной сигнал развязывающего устройства, луч C2 – контрольный сигнал с выхода генератора, эквивалент 300 В, скорость развертки 500 нс/деление.

Применение для синхронизации измерительных систем серийно выпускаемых оптронов интегральной компоновки бесперспективно, поскольку их паразитная ёмкость имеет величину, сравнимую с паразитной ёмкостью трансформатора – порядка 1 пФ, а, следовательно, и проникновение помехи приблизительно  $-10$  дБ. К тому же, если трансформатор передаёт сигнал триггера с ослаблением 0 дБ, то оптрон передаёт только 1 % сигнала, т.е.  $-40$  дБ. Очевидно, что оптрон существенно проигрывает трансформатору [3].

Для решения задачи надёжного транспорта сигнала триггера было предложено и изготовлено развязывающее устройство (фильтр) на основе широкополосного синфазного трансформато-

ра на длинной линии [4, 5]. Устройство переносит сигнал триггера от потенциала кабельной линии, идущей из защищённого зала, к потенциалу экранированного объёма на установке, в котором размещена измерительная аппаратура, а затем к потенциалам корпусов самой измерительной аппаратуры. Соответственно, устройство выполнено по двухкаскадной схеме, где первый каскад используется для получения, нормализованного относительно местного потенциала экранированного объёма, квазидифференциального сигнала умеренной амплитуды, а второй каскад – для получения разветвленного сигнала с «мягкой» связью местного потенциала и корпусов регистрирующей аппаратуры.

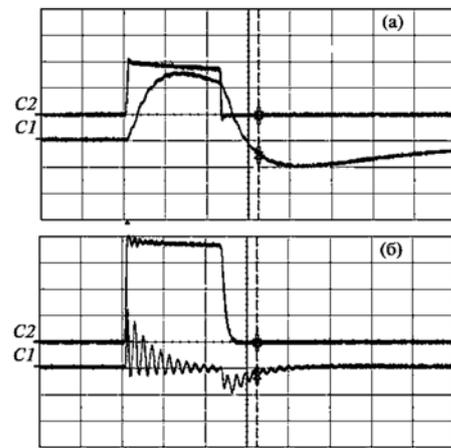


Рисунок 1 – Выходной сигнал развязывающего устройства на основе широкополосного импульсного трансформатора:

*a* – дифференциальная мода; *b* – синфазная мода.

Масштаб по вертикали: C1 – 5 В/деление;

C2 – 150 В/деление, по горизонтали: 500 нс/деление

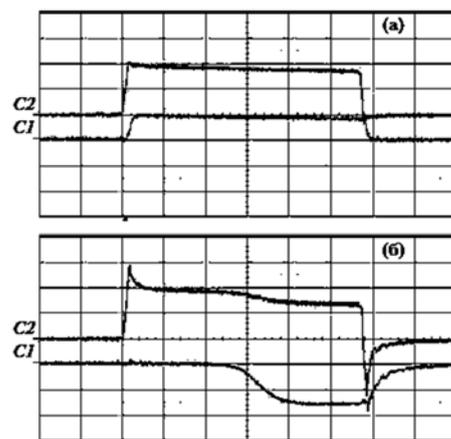


Рисунок 2 – Выходной сигнал развязывающего устройства:

*a* – дифференциальная мода; *b* – синфазная мода.

Масштаб по вертикали: C1 – 5 В/деление;

C2 – 150 В/деление, по горизонтали: 200 нс/деление

Ослабленный до умеренной амплитуды сигнал подается на вход синфазного трансформато-

ра, который выполнен двадцатью двумя витками бифилярно свитого провода МГТФ-0.05, с волновым сопротивлением искусственной линии около 100 Ом на четырёх кольцах К10×7×6 из феррита М2000НМ-5. Симметричная структура выхода позволяет замкнуть остаточные токи синфазной моды на местную землю, независимо от токов сигнала триггера. Трансформатор пропускает сигнал дифференциальной моды без изменений, а для сигнала синфазной моды представляет собой индуктивность. Ослабление синфазной моды существенно выше, чем для дифференциального сигнала. Структура выбрана так, что на выходе каскада присутствует парафазный относительно местного потенциала корпуса экранированного объема сигнал размахом ±12 В.

Второй каскад так же построен на основе синфазного трансформатора Т2, идентичного по исполнению. Он принимает парафазный сигнал триггера и переносит его без изменения на потенциал корпусов измерительной аппаратуры, где амплитуда ослабляется до желательного уровня около 1–5 В, а затем разветвляется на измерители. Так же, как и на входе, имеется переключатель, позволяющая оптимизировать поведение уравнивающих токов, приходящих на корпуса измерителей по сигнальным кабелям со стороны датчиков. На рисунке 2 представлены осциллограммы сигналов с выхода одного из четырёх идентичных друг другу кабелей. Луч, обозначенный С1 – выходной сигнал второго каскада устройства, луч С2 – контрольный сигнал с выхода генератора, эквивалент 300В, скорость развёртки 200 нс/деление, длительность фронта 20 нс.

**Выводы.** Спроектировано и изготовлено развязывающее устройство цепи транспорта сигнала

триггера для синхронизации системы регистрации установки КИ-1 ИЛФ СО РАН.

Фронт дифференциального сигнала триггера, по сравнению с исходным устройством, улучшен с 300 нс до 30 нс. Измеренное проникновение синфазной помехи с фронтом 20 нс в цепь сигнала не превышает 80 дБ, что существенно лучше 26 дБ для исходного устройства. Устройство испытано с синфазными импульсами амплитудой до 600 В. Достигнута надёжная синхронизация системы регистрации установки КИ-1 ИЛФ СО РАН в реальных условиях экспериментов.

*Благодарности.* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №18-12-00080.

#### Литература

1. Кондаков Е.В. Изучение широкополосного трансформатора для студентов физического факультета ЮФУ, направлений подготовки «Радиофизика» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Е.В. Кондаков. – ЮФУ, 2014. – 19 с.
2. Денисенко В. Заземление в системах промышленной автоматизации / В. Денисенко. – Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 2. – С. 94–96.
3. Смолина Е.В. Быстродействующий преобразователь тока с оптоволоконной развязкой / Е.В. Смолина. – Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 6. – С. 46–48.
4. Ред Э.Т. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике: схемы, блоки, 50-омная техника / Э. Ред; пер. с нем. С.Н. Шибалова; под ред. Ю.А. Лурье. – М.: Мир, 1990. – 256 с.
5. Лондон С.Е. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам / С.Е. Лондон, С.В. Томашевич. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.