

Лабораторная работа 4
ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРНОЙ ТЕХНИКИ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ
К НАНОСЕКУНДНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ПОМЕХАМ

Цели работы:

- получение навыков испытаний оборудования на электромагнитную совместимость;
- определение уровней восприимчивости реального оборудования.

4.1. Общие сведения

Импульсные помехи во входных цепях и в цепях питания электронных схем могут привести к ложному срабатыванию, потере информации, снижению качества их функционирования. Способность схемы функционировать с заданным качеством в условиях действия помех называется *помехоустойчивостью*. Уровень помехоустойчивости характеризуется максимальной величиной помехи (амплитудой в случае импульсной помехи), при которой устройство или блок сохраняют свою работоспособность. *Восприимчивость* схемы характеризуется минимальным уровнем помех, при котором возникают сбои в работе, а качество функционирования схемы снижается до уровня ниже допустимого. Уровни помехоустойчивости и восприимчивости схемы различны для помех разной длительности, полярности, приложенных к входным шинам питания и цепям заземления.

Испытание на воздействие наносекундных импульсных помех (НИП) – это испытание пачками импульсов наносекундной длительности, подаваемых на порты электропитания, заземления и сигналов ввода/вывода. Существенными особенностями НИП являются малая длительность фронта, высокая частота повторения и низкая энергия.

ГОСТ Р 51317.4.4-2007 (МЭК 61000-4-4-2004) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний” распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование (далее в тексте – технические средства (ТС)) и устанавливает степени жёсткости испытаний, которые относятся к различным условиям эксплуатации ТС, а также методы испытаний.

Степени жёсткости испытаний выбирают исходя из условий эксплуатации ТС.

Степень жёсткости 1. Это хорошо защищённая электромагнитная обстановка, характеризующаяся следующими свойствами:

- подавлением НИП в коммутируемых цепях электропитания и управления;
- разделением между линиями силового электропитания (переменного и постоянного токов) и управляющими и измерительными цепями;
- применением экранированных кабелей электропитания с экранами, заземлёнными с обоих концов, и фильтрацией подаваемого электропитания.

Степень жёсткости 2. Это защищённая электромагнитная обстановка, характеризующаяся следующими свойствами:

- частичным подавлением НИП в цепях силового электропитания и управления, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами);
- разделением цепей, связанных с более жёстким уровнем электромагнитной обстановки, от других цепей;
- физическим разделением неэкранированных кабелей силового электропитания и управления от кабелей ввода/вывода.

Степень жёсткости 3. Это типовая промышленная электромагнитная обстановка, характеризующаяся следующими свойствами:

- отсутствием подавления НИП в цепях силового электропитания и управления, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами);
- недостаточным разделением силовых цепей от других цепей, связанных с более жёстким уровнем электромагнитной обстановки;
- недостаточным разделением между кабелями силового электропитания, управления, сигнальными и коммуникационными;
- наличием системы заземления, использующей проводящие каналы, проводники заземления в кабельных желобах (соединённых с системой защитного заземления) и контура заземления.

Степень жёсткости 4. Это тяжёлая промышленная электромагнитная обстановка, характеризующаяся следующими свойствами:

- отсутствием подавления НИП в цепях силового электропитания, управляющих и питающих цепях, которые переключаются с помощью реле или контакторов;
- отсутствием разделения цепей, связанных с более жёстким уровнем электромагнитной обстановки, от других цепей;
- отсутствием разделения между кабелями силового электропитания, управления и кабелями ввода/вывода;
- использованием общих многожильных кабелей для цепей управления и цепей ввода/вывода.

Параметры воздействий на ТС соответствующих степени жёсткости испытаний указаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Степень жёсткости испытаний	Выходное испытательное напряжение ИГ в режиме холостого хода, кВ	
	на порт электропитания, порт заземления	на порт сигналов ввода/вывода
1	0,5	0,25
2	1,0	0,50
3	2,0	1,00
4	4,0	2,00

Примером условий, соответствующих степени жёсткости 1, может служить электромагнитная обстановка в компьютерных залах. Для данной степени жёсткости испытания в испытательных лабораториях ограничивают воздействием НИП на порты электропитания, испытания в условиях эксплуатации – воздействием на порты заземления ТС.

Примером условий, соответствующих степени жёсткости 2, может служить электромагнитная обстановка в помещении для средств измерения, контроля и управления на промышленном предприятии.

Примером условий, соответствующих степени жёсткости 3, может служить электромагнитная обстановка промышленных предприятий и предприятий энергетики.

Примерами условий, соответствующих степени жёсткости 4, могут служить электромагнитная обстановка промышленного наружного технологического оборудования, в котором не приняты меры снижения помех, а также электромагнитная обстановка электроподстанций воздушных линий высокого напряжения.

4.2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка, структурная схема которой при испытании на устойчивость к наносекундным импульсным помехам приведена на рис. 4.1, включает в себя следующее испытательное оборудование и устройства:

- 1) испытательный генератор (ИГ) со средствами калибровки или измерения,
- 2) пластину заземления,
- 3) устройство связи или емкостные клещи,
- 4) устройство развязки.

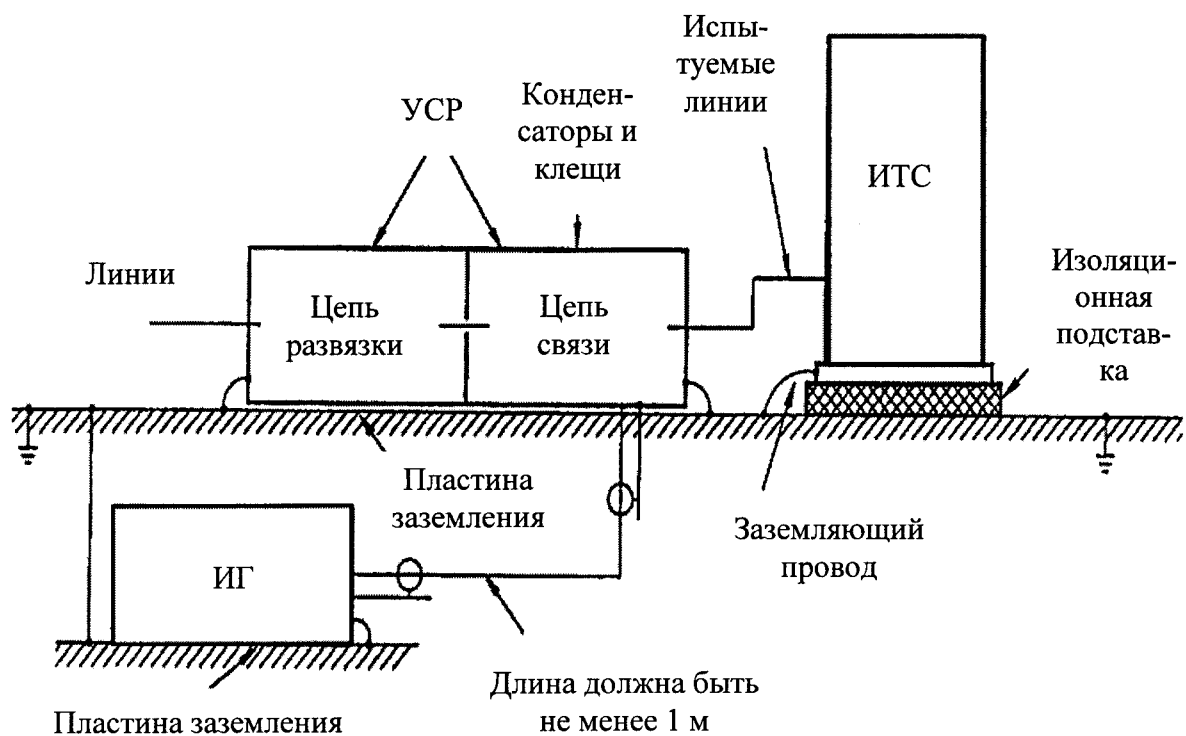


Рис. 4.1

Основными элементами измерительного генератора, упрощённая электрическая схема которого показана на рис. 4.2, являются:

- источник высокого напряжения U ;
- зарядный резистор R_3 ;
- накопительный конденсатор C_H ;
- разрядник;
- резистор цепи формирования длительности импульса R_{Φ} ;

- согласующий резистор R_c ;
- разделительный конденсатор C_p .

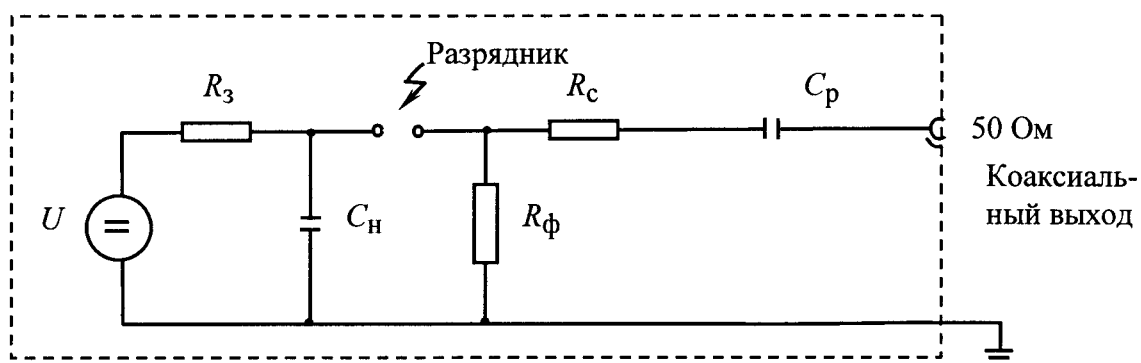


Рис. 4.2

Технические характеристики ИГ следующие:

- амплитуда импульсов напряжения в режиме холостого хода (U_{\max}) – (0,25; 0,5; 1; 2; 4) кВ $\pm 10\%$;
- полярность импульсов – положительная и отрицательная.

Вид пачки импульсов и типовая форма импульса напряжения при нагрузке 50 Ом показаны на рис. 4.3 и 4.4.

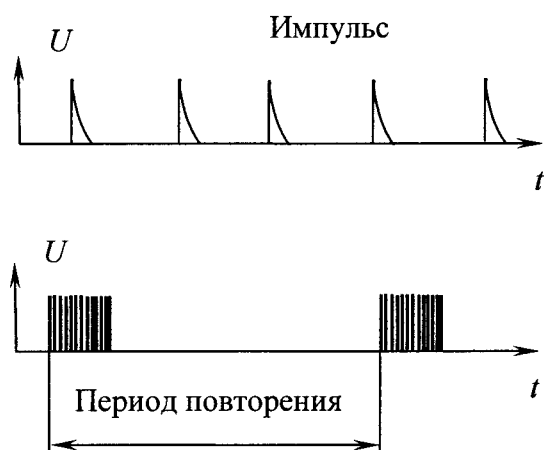


Рис. 4.3

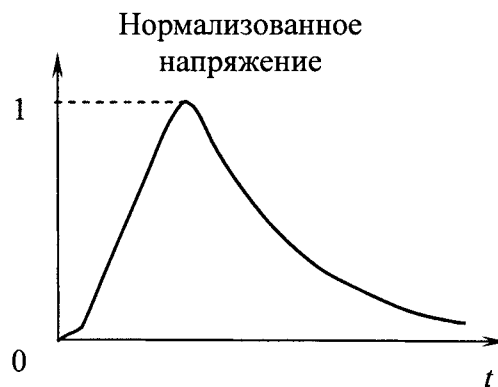


Рис. 4.4

При работе на нагрузку 50 Ом:

- длительность фронта импульса – 5 нс $\pm 30\%$;
- длительность импульса по уровню – 0,5...50 нс $\pm 30\%$;

- максимальная энергия импульса – 4 мДж/имп. при напряжении 2 кВ;
- длительность пачки импульсов – 15 мс \pm 20 %;
- период следования пачек – 300 мс \pm 20 %;
- частота повторения импульсов в пачке:
 - при $U_{\text{вых}} = (0,125 \dots 1,0)$ кВ – 5 кГц \pm 20 %;
 - при $U_{\text{вых}} = 2$ кВ – 2,5 кГц \pm 20 %;
- внутреннее сопротивление – 50 Ом \pm 20 %.

Устройство связи/развязки (УСР) – электрическая цепь, предназначенная для передачи НИП в цепи ИТС, а также для предотвращения воздействия НИП на оборудование или системы, не подвергаемые испытаниям.

Схема УСР для подачи НИП по схеме “провод–земля” на порты электропитания переменного/постоянного тока (на примере трёхфазной пятипроводной сети электропитания переменного тока) приведена на рис. 4.5.

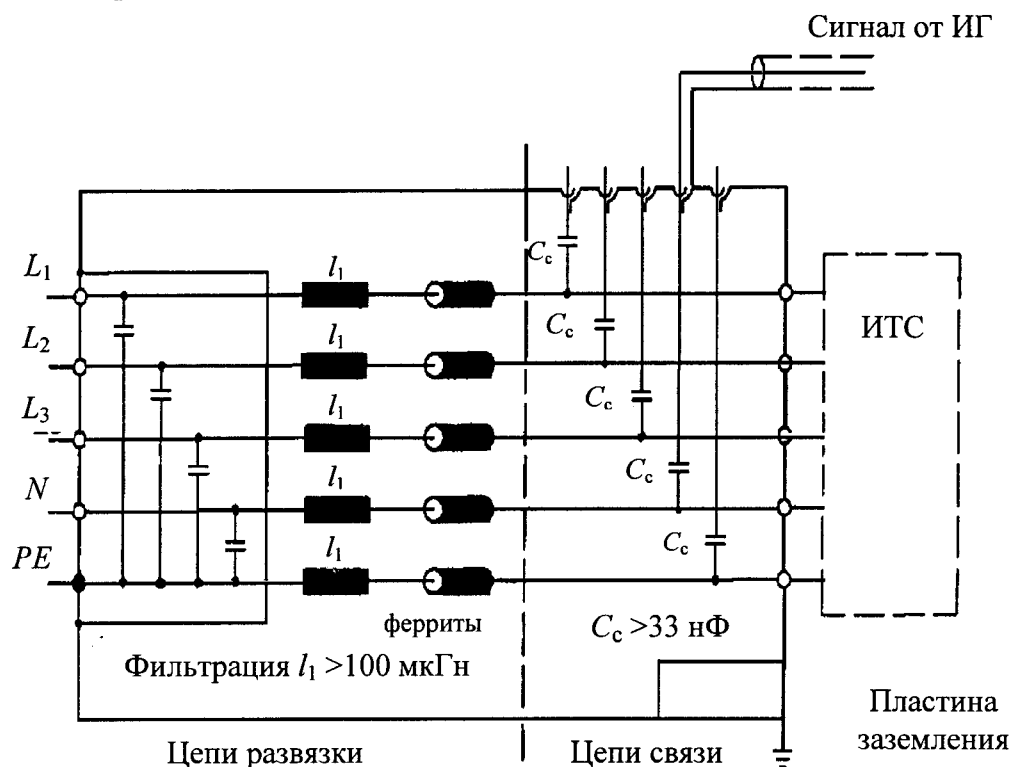


Рис. 4.5

Основные элементы схемы: L_1, L_2, L_3 – фазные провода; N – нейтральный провод; PE – защитное заземление; l_1 дроссель развязки; C_c – конденсатор связи.

Характеристики УСР следующие:

- диапазон частот – 1...100 МГц;
- затухание в цепи связи – менее 2 дБ;
- затухание в цепи развязки при измерении по схеме “провод–земля” – более 20 дБ;
- переходное затухание между двумя любыми линиями – более 30 дБ.

Испытательный генератор ИГН 4.1м содержит встроенное УСР для введения НИП в однофазные цепи питания ИТС переменного тока с напряжением 220 В и потребляемым током до 10 А.

Емкостные клещи связи обеспечивают возможность подачи НИП на проверяемую цепь ИТС без гальванического подключения к контактам цепей, экранам кабелей или каким-либо другим частям ИТС.

Конструкция емкостных клещей (рис. 4.6) состоит из пластин связи (выполненных из стали с гальваническим покрытием, латуни, меди или алюминия) для укладки в них кабелей проверяемой цепи. Емкостные клещи следует устанавливать на пластине заземления площадью не менее 1 м². Пластина заземления должна представлять собой металлический лист (медный или алюминиевый) толщиной не менее 0,25 мм, выступать за границы клещей связи не менее чем на 0,1 м с каждой стороны и быть заземлена. Заземляющие проводники, подключённые к пластине заземления, должны иметь минимальную индуктивность. Дополнительное заземление не допускается.

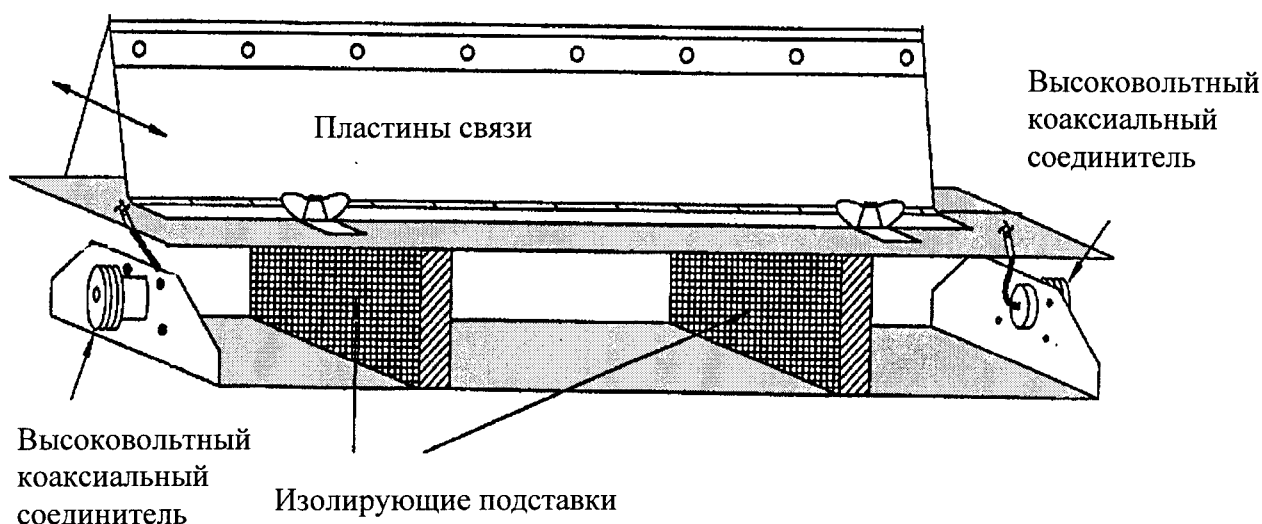


Рис. 4.6

Емкостные клещи должны иметь на каждом конце высоковольтный коаксиальный соединитель для подключения ИГ к любому концу. ИГ должен быть подсоединён к тому концу клещей, который расположен ближе к ИТС. При испытаниях емкостные клещи с уложенным в них кабелем должны по возможности быть наиболее плотно закрыты, чтобы обеспечить максимальную ёмкость между кабелем и емкостными клещами. Типовое значение ёмкости связи между кабелем и емкостными клещами составляет 50...200 пФ.

Метод испытаний с использованием емкостных клещей связи предназначен для подачи НИП на порты сигналов ввода/вывода, но может также использоваться применительно к портам электропитания переменного и постоянного токов ТС, если нельзя использовать устройство связи/развязки.

ИТС должно быть размещено на пластине заземления и изолировано от неё изоляционной подставкой толщиной $(0,1 \pm 0,01)$ м. ИТС должно быть установлено и подключено к линиям электропитания, ввода/вывода и заземления в соответствии с технической документацией.

Для подачи НИП следует использовать устройство связи. Оно должно быть подключено к линиям между ИТС и устройством развязки или между двумя ИТС, участвующими в испытаниях. При использовании емкостных клещей связи минимальное расстояние между их пластинами связи и всеми другими проводящими конструкциями, за исключением пластины заземления под емкостными клещами связи и под ИТС, должно быть 0,5 м.

Длина сигнальных кабелей и кабелей электропитания между устройством связи и ИТС должна быть не более 1 м.

НИП должны подаваться на следующие порты ИТС:

- порты электропитания (для случая однофазной трёхпроводной сети электропитания переменного тока – см. рис. 4.7);
- порты сигналов ввода/вывода;
- порты заземления корпусов ТС.

При проведении испытаний ИТС должно функционировать непрерывно в режиме, обеспечивающем наибольшую восприимчивость к воздействию НИП. Для проверки характеристик ИГ требованиям ГОСТ его выход необходимо подключить через 50-омный коаксиальный аттенюатор к осциллографу. Ширина полосы пропускания осциллографа должна быть не менее 400 МГц. В пачке должны контролироваться длительность фронта импульса, длительность и частота повторения импульсов.

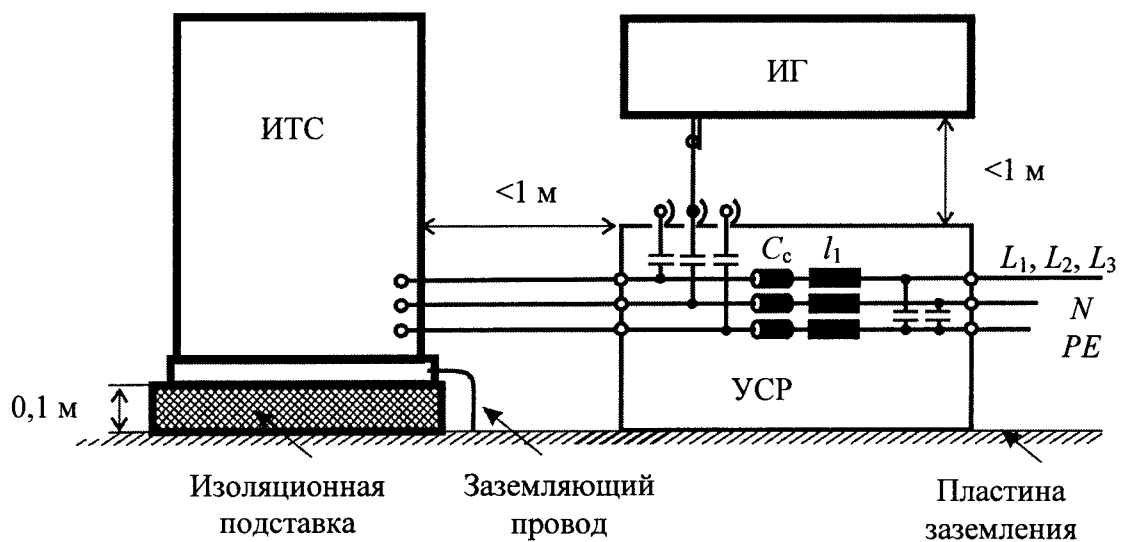


Рис. 4.7

Схема испытаний технического средства с подачей наносекундных излучаемых помех в проходящем через емкостные клещи связи кабеле питания приведена на рис. 4.8.

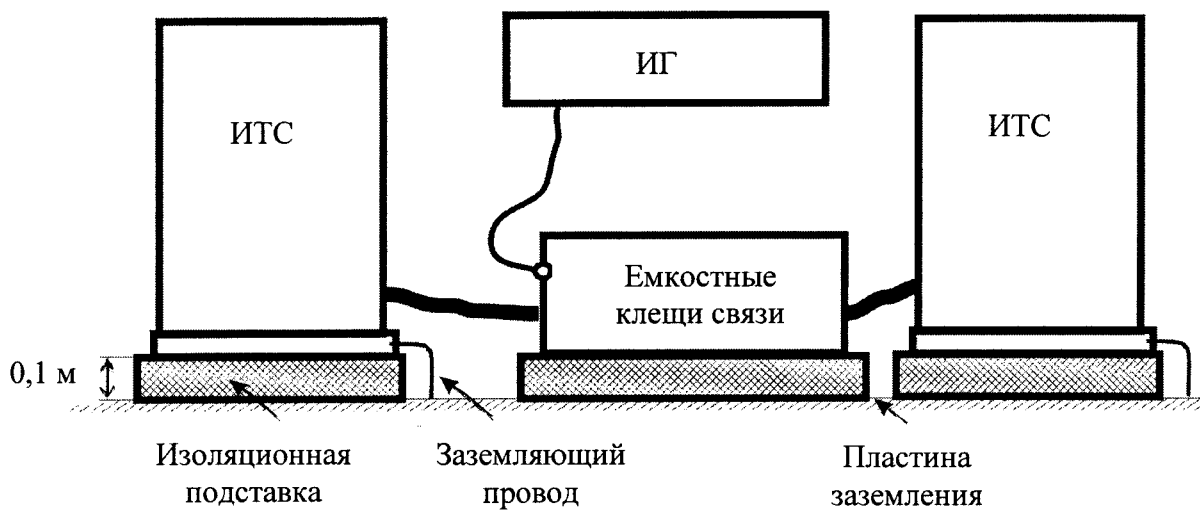


Рис. 4.8

Пример организации рабочего места для испытаний переносного технического средства приведён на рис. 4.9.

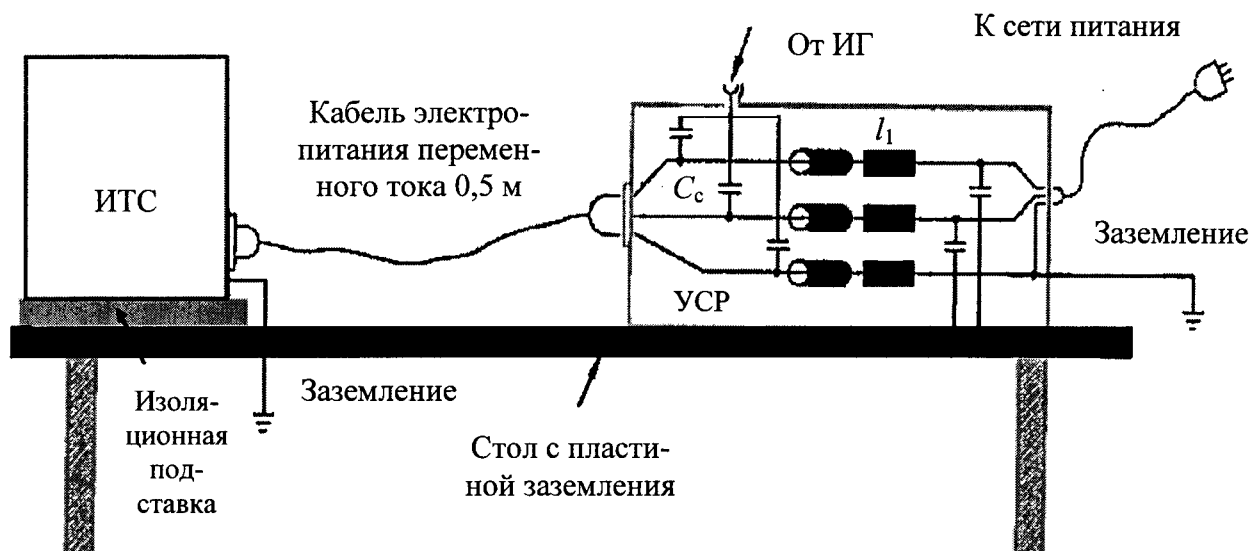


Рис. 4.9

Программа испытаний должна устанавливать:

- вид испытаний;
- степень жёсткости испытаний;
- полярность испытательного напряжения (необходимы обе полярности);
- внутренний или внешний способ запуска ИГ;
- длительность испытания (не менее 1 мин);
- количество воздействий НИП;
- порты ИТС, которые должны испытываться;
- режимы работы ИТС;
- последовательность подачи импульсных помех на порты ИТС (поочередно по портам) или на кабели, содержащие более чем одну проверяемую цепь;
- состав вспомогательного оборудования.

Степень жёсткости проводимых испытаний не должна превышать указанную в технической документации на техническое средство. Это может вызвать выход его из строя.

Испытуемые ТС (с потребляемым током не более 10 А) рекомендуется подключать к розетке ВЫХОД при выключённом питании генератора.

После подключения технического средства к генератору следует включить переключатель СЕТЬ ИГ и питание ТС.

После включения генератора на дисплее появляется текст и курсор в виде стрелки в верхней строке следующего вида:

Ампл.:	0.25кВ ←
Выход:	Φ +
Режим:	Норм
00:00:00	

Амплитуда выходных импульсов при холостом ходе устанавливается при помощи кнопок ⊕ и ⊖. Курсор должен находиться в строке *Ампл.:*. При этом можно выбрать значения: **0,25; 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 кВ**.

Перемещение курсора по строкам осуществляется при помощи кнопок ↓ и ↑.

Схема подачи испытательных импульсов, а также их полярность, выбираются при установке курсора в строку *Выход:* при помощи кнопок ⊕ и ⊖. При этом последовательно появляются надписи **Φ+, Φ–, О+, О–, З+, З–, Φ–О+, Φ–О–, ЕК4+, ЕК4–**, которые указывают схему подключения и полярность (Φ – фаза, О – ноль, З – земля, ЕК4 – выход для подключения емкостных клещей).

При установке курсора в строку *Режим:* при помощи кнопок ⊕ и ⊖ можно переключать режимы работы генератора нормальный (*Норм*) и циклический (*Цикл*). В нормальном режиме пачки испытательных импульсов установленных амплитуды и полярности вырабатываются на выбранном выходе в течение 60 с, после чего генератор переходит в режим *Стоп*. В циклическом режиме пачки испытательных импульсов установленной амплитуды последовательно подаются по 60 с на выходы **Φ+, Φ–, О+, О–, З+, З–**.

Емкостные клещи подключаются к выходу ЕК4 при помощи коаксиального кабеля, входящего в комплект генератора. Пуск и останов генерации пачек испытательных импульсов осуществляются нажатием на кнопку ПУСК/СТОП. При этом светодиод, расположенный рядом с этой кнопкой, загорается зелёным светом, а во время формирования пачки вспыхивает красным. Во время генерации производится отсчёт времени в нижнем правом углу дисплея. После окончания испытаний следует выключить питание технического средства, выключить питание ИГ и отсоединить ТС от розетки Выход генератора.

Результаты испытаний. Должны быть классифицированы на основе приведённых далее критериев качества функционирования с учётом условий применения и функциональных требований к ИТС:

А. Нормальное функционирование в соответствии с установленными требованиями.

В. Временное ухудшение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, которые исчезают после прекращения помехи и не требуют вмешательства оператора для восстановления работоспособности.

С. Временное прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, восстановление работоспособности, которые требуют вмешательства оператора или перезапуска системы.

Д. Ухудшение или потеря функции, которая не может быть восстановлена из-за повреждения оборудования (компонентов) или программного обеспечения либо потери данных.

ИТС не должно становиться опасным или ненадёжным в результате проведения испытаний.

Как правило, результаты испытаний считаются положительными, если испытуемое техническое средство обеспечивает функционирование с заданным качеством в течение всего периода воздействия помех, а в конце испытаний ИТС соответствует функциональным требованиям, установленным в технической документации.

4.3. Содержание и порядок выполнения работы

Для указанного преподавателем прибора или образца оборудования составьте программу испытаний на воздействие наносекундных импульсных помех исходя из назначения и условий его использования. После этого проведите соответствующие испытания, подключив прибор к установке, обработайте результаты и дайте заключение о прохождении оборудованием испытаний.

Указания мер безопасности

- **Запрещается** включать испытательный генератор в сеть со снятой верхней крышкой.
- **Обязательно** убедитесь в подключении защитного заземления.
- **Запрещается** прикасаться к сетевому кабелю испытуемого ТС и емкостным клещам в момент подачи испытательного воздействия.

1. Проверьте соответствие характеристик ИГ требованиям ГОСТ. Для этого выход ИГ необходимо подключить через 50-омный коаксиальный аттенюатор к осциллографу. Ширина полосы пропускания осциллографа должна быть не менее 400 МГц. В пачке должны контролироваться длительность фронта импульса, длительность и частота повторения импульсов.

2. Подключите ИГ через УСР или емкостные клещи к испытуемому прибору. Подайте питание на установку. Установите положительную полярность. Увеличивая амплитуду импульсов, зафиксируйте значение амплитуды, при котором возникают сбои в работе испытуемого прибора. Испытание необходимо выполнить при действии помехи на всех входах схемы и по цепям её питания. Аналогично зафиксируйте уровень восприимчивости для другой полярности импульсов.

3. Проведите испытание предложенных преподавателем приборов.

4. Сформулируйте выводы о восприимчивости испытанных схем. Оцените и сравните их помехоустойчивость.

4.4. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- краткое описание испытываемого и испытательного оборудования;
- осциллограммы создаваемых импульсных помех;
- программа испытаний;
- протокол и результаты испытаний;
- подробные выводы по результатам работы.

4.5. Контрольные вопросы

1. Каковы причины и источники образования наносекундных импульсных помех?

2. От чего зависит выбор степени жёсткости испытаний на наносекундные импульсные помехи?

3. Что входит в программу испытаний на устойчивость приборов и систем к наносекундным импульсным помехам?

4. На чём основываются выводы о восприимчивости испытанных приборов и их схем к НИП?