

Экспериментальные методы исследования плазмы, ч. 1

Электронный лекционный курс*

Судников А. В.

Лекция 11

Измерения в эксперименте ...или как не ловить наводки

© Новосибирский государственный университет 2013 г. Редакция 2017 г.

* Курс подготовлен в рамках реализации Программы развития НИУ НГУ на 2009–2018 годы

Измерения в плазменном эксперименте

- Типы источников и приемников сигнала
 - Измерение напряжения заземленных источников
 - Измерение напряжения незаземленных источников
- Электрические наводки и их классификация
 - воздействия через кондуктивные связи
 - влияние неэквипотенциальности «земли»
 - наводки через взаимную индуктивность
 - наводки через емкостные связи;
 - высокочастотные электромагнитные наводки.
- Способы подавления наводок
- Один слайд о не электрических наводках
- Цифровые измерения

Типы источников и приемников сигнала

Источники сигнала могут быть *заземленными* или *незаземленными (плавающими)*. Источники сигнала могут быть как *источниками напряжения*, так и *источниками тока*.

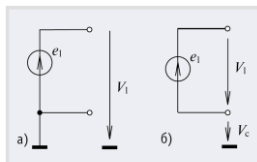


Рис. 1. Заземленный (а) и плавающий (б) источники сигнала

Тройной зонд: плавающий источник напряжения.

Диамантный зонд: заземленный либо плавающий источник напряжения.

Алмазный детектор: заземленный либо плавающий источник тока.

...и т.д.

Типы источников и приемников сигнала

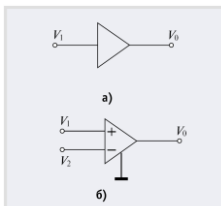


Рис. 2. Приемник сигнала с одиночным (а) и с дифференциальным (б) вводом

Здесь приёмник — преобразователь исходного (чаще электрического) сигнала в требуемую форму.

Усилитель — приёмник, преобразующий электрический сигнал в электрический.

а) *приемник/усилитель с одиночным (недифференциальным) входом.* Измеряет сигнал относительно «земли»

б) *дифференциальный приёмник/усилитель.* Измеряет разность потенциалов на входах.

Дифференциальный приемник сигнала

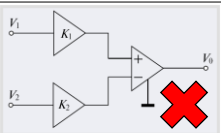
Неидеальность дифференциальных приемников заключается в том, что наряду с дифференциальным сигналом на выход приемника попадает и ослабленный синфазный сигнал. Коэффициент передачи синфазного сигнала меньше, чем дифференциального, в некоторое число раз, которое называется коэффициентом ослабления синфазного сигнала K_{CMRR} .

Коэффициент ослабления синфазного сигнала зависит от частоты.

Напряжение на выходе дифференциального приемника сигнала можно записать в виде:

$$V_0 = K_0 (V_1 - V_2) + K_{CMRR} \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Дифференциальный приемник сигнала



Дифференциальный приемник не может быть получен с помощью двух одиночных приемников сигнала путем простого вычитания сигналов на их выходах:

Рис. 3. Иллюстрация того, как нельзя строить усилители с дифференциальным входом

$$V_0 = K_1 V_1 - K_2 V_2 = \frac{K_1 + K_2}{2} (V_1 - V_2) + \frac{K_1 - K_2}{2} (V_1 + V_2)$$

Измерение напряжения заземленных источников

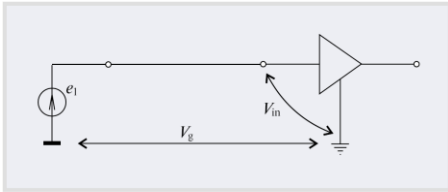


Рис. 4. «Земля» имеет разные потенциалы в разных точках

Измерение напряжения заземленных источников

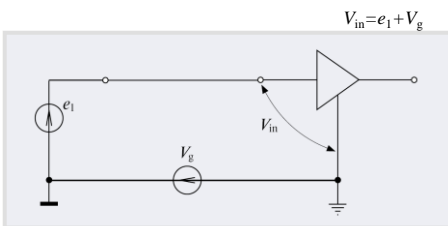


Рис. 5. Различие потенциалов «земли» источника сигнала и приемника эквивалентно включению источника напряжения помехи последовательно с источником сигнала

Измерение напряжения заземленных источников

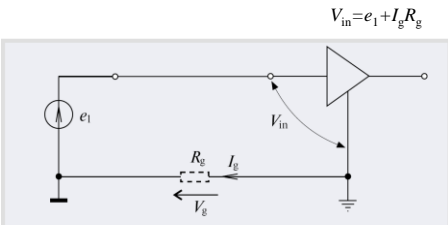


Рис. 6. Проводник, соединяющий «земли» источника и приемника сигнала, имеет конечное сопротивление

Измерение напряжения заземленных источников

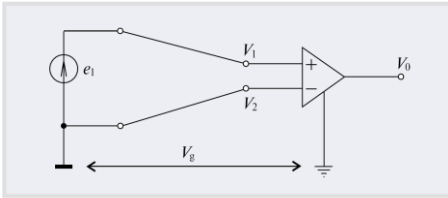
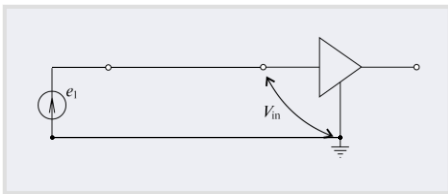


Рис. 7. Измерение сигнала заземленного источника с помощью дифференциального приемника

Измерение напряжения незаземленных источников



Измерение незаземленного источника с помощью измерителя с единственным входом

Измерение напряжения незаземленных источников

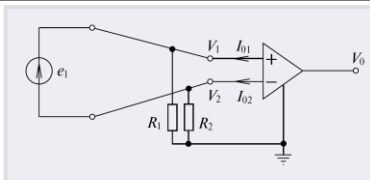


Рис. 8. Устранение насыщения дифференциального приемника с помощью резисторов

Сопротивление резисторов выбирается как можно меньшим, чтобы снизить величину синфазного сигнала, однако оно должно быть много больше внутреннего сопротивления источника сигнала, чтобы не вносить погрешность в результат измерения.

Типы источников и приемников сигнала

Дифференциальные приемники сигнала всегда обеспечивают более высокую помехозащищенность по сравнению с приемниками с одиночным входом, однако они требуют больше соединительных проводов и технически сложнее.

Поэтому выбор между дифференциальным или одиночным входом может быть сделан только при рассмотрении конкретных условий применения и требований к системе.

Электрические наводки и их классификация

Между двумя электрическими цепями, одна из которых измерительная и является источником полезного сигнала, а другая – источником наводки, могут существовать электромагнитные связи через:

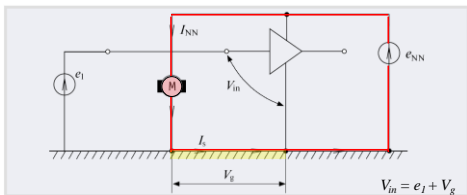
- неэквипотенциальность «земли»
- общий участок цепи (кондуктивная связь)
- электрическое поле (емкостная связь)
- магнитное поле (индуктивная связь)
- высокочастотное электромагнитное излучение.

Электрические наводки и их классификация

Механизм наводки помех	Случай	Источник помех
Гальваническая связь	Две схемы используют общий провод	Включение прибора; запуск мотора; статический разряд
Емкостная связь (электрическое поле)	Два соседних кабеля имеют разный потенциал	Перекрестные помехи между параллельными сигнальными кабелями, статический разряд от оператора, контакторы
Индуктивная связь (магнитное поле)	Два соседних кабеля с током. При этом ток в каждом кабеле индуцирует ток помехи в соседнем.	Трансформаторы; моторы; параллельные силовые кабели; высокочастотные сигнальные кабели
Связь посредством электромагнитного излучения	Электромагнитная волна попадает на кабель	Рядом находящиеся передатчики, радиосвязь

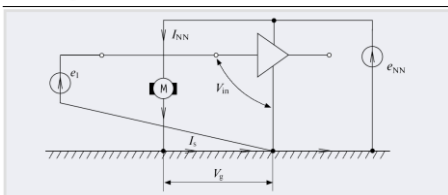
Погрешности, вызванные кондуктивными связями

Источником погрешности при передаче сигнала может быть падение напряжения V_g на участке провода, общем для сигнала и некоторой нагрузки. Такая паразитная связь называется кондуктивной (резистивной)



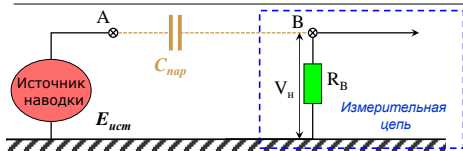
Условные обозначения: М — нагрузка, e_{NN} — эквивалентный источник, I_{NN} — ток, протекающий от эквивалентного источника через нагрузку.

Погрешности, вызванные кондуктивными связями



В общем случае, чтобы заранее предотвратить возникновение данной проблемы, следует различать понятия "сигнальная земля", "аналоговая земля", "цифровая земля". Все эти "земли" должны быть выполнены разными проводами, и их можно соединять только в одной общей точке. Сигнальные цепи нельзя использовать для питания даже маломощной аппаратуры.

Паразитная ёмкостная связь



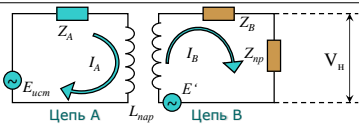
Ёмкостное сопротивление связи:

$$X_{пар} = \frac{1}{\omega C_{пар}} \quad V_n = E_{ист} \frac{R_B}{R_B + X_{пар}}$$

Способы подавления:

1. Минимизация R_B
2. Экранирование

Паразитная индуктивная связь



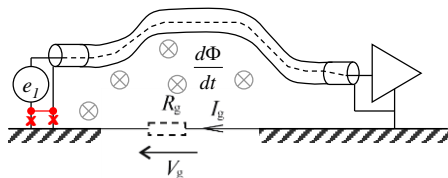
$$E' = I_A \omega L_{нар} = \frac{E_{ист} \omega L_{нар}}{Z_A} \quad I_B = \frac{E'}{Z_B} = \frac{E_{ист} \omega L_{нар}}{Z_A Z_B}$$

$$V_{ш} = I_B Z_{нар} = E_{ист} \frac{\omega L_{нар} Z_{нар}}{Z_A Z_B}$$

Способы подавления:

1. Минимизация $Z_{нар}$
2. Минимизация $L_{нар}$
3. Экранирование (*затруднено*)

«Земляной контур» - частный случай паразитной индуктивной связи



Способы борьбы:

1. Заземление в одной точке (предпочтительно в измерителе)
2. Использование развязывающих устройств.

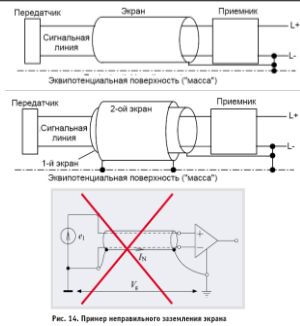
Высокочастотные электромагнитные наводки.

Высокочастотные электромагнитные помехи наводятся от таких источников, как радио и телевизионные передатчики, мобильные и радиотелефоны, тиристорные преобразователи, коллекторные электродвигатели, электросварочное оборудование, импульсные блоки питания оборудования. В условиях плазменного эксперимента это еще и ВЧ и СВЧ генераторы (ИЦР, ЕЦР и проч.)

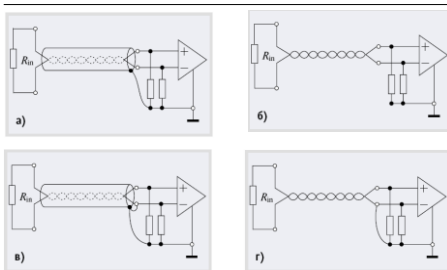
Способы подавления:

1. Экранировка излучателя.
2. Минимизация размеров «антенн».
3. Экранирование измерителя и регистратора.
4. Использование фильтров.

Способы экранирования



Способы экранирования



Экранированные боксы



При работе с высоким уровнем ЭМ помех приёмники также должны быть экранированы; экран не должен прерываться при переходе от кабеля к приёмнику.
Доступны промышленные решения (могут быть заменены сплошным металлическим ящиком).

Гальванические развязки

Требования:

- Малая величина паразитной емкости и индуктивности
- Высокое сопротивление и электрическая прочность
- Широкая полоса частот передаваемых сигналов
- Минимальные искажения

Трансформаторные развязки

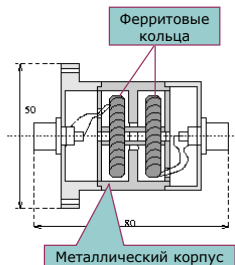
Трансформатор с объемным витком

Главное достоинство: $C_{\text{пар}} = 0$

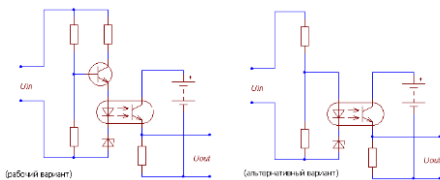
Недостаток – невозможно передавать низкочастотные сигналы. В случае периодических сигналов необходимо, чтобы:

$$\int_0^T U(t) dt = 0$$

Основное применение в запусковых цепях



Оптронные развязки и оптические линии связи.



Простейшая аналоговая оптронная развязка

Типичные параметры:

$$\tau_{\text{min}} \approx 1.5 \mu\text{s}$$

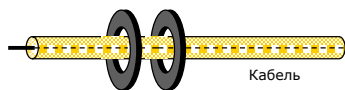
$$C_n \approx 0.25 \text{ pF}$$

Точность: 0.1%

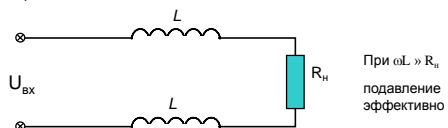
$$U_{\text{max}} = 40 \text{ kV}$$

Фильтры

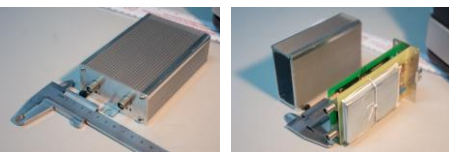
Использование ферритовых колец для подавления синфазной наводки.



Упрощённая эквивалентная схема:



Использование гальванически изолированных АЦП



Радикальное решение проблем с наводками: использование АЦП, гальванически изолированных как по передаче сигнала, так и по питанию.

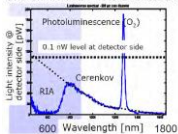
Оцифрованные данные передаются по оптической линии связи, питание — от LiFePO₄ аккумулятора.

Минусы решения: повышение цены измерительного канала; необходимость подзарядки аккумулятора.

Проблемы использования оптических трасс



Cherenkov and Photoluminescence



Черенковское излучение в кварцевом световоде



В мощном гамма- и рентгеновском излучении световоды светятся из-за сцинтилляции и черенковского излучения. В длинном световоде свечение может превышать сигнал.

Частичное решение проблемы — слабо сцинтиллирующие световоды (*Kuraray clear optical fiber* либо чистый кварц)