

Типичный Радиолюбитель

17 сен 2018

▼

#инструмент@radioliellectronica

#измерения@radioliellectronica

Дабы слегка разбавить группу хайтехом, сегодняшнее мое повествование будет о измерении токов на приделах приближенных к теоретически возможным. Мы постараемся погрузится в методы построения тестовых стендов, которые ограничивают лишь эффекты шумов Джонсона-Найквиста 🤝

Многим в своей практике приходится сталкиваться с измерениями токов на уровне от 100A до 1мкА, но обычно за эти приделы мало кто заходит, потому что измерять нечем, и практическое применение таких токов очень ограничено. Предомной-же часто стоит задача замера токов значительно меньших, поскольку я занимаюсь разработкой малопотребляющей высоковольтной техники и любительской экспериментальной физикой.

При измерениях в нано, пико, фемто и атто-амперных диапазонах начинают серьезно влиять наводки, утечки и эмиссия электронов.

Чтобы избежать этих негативных эффектов надо применить несколько ухищрений:

1 – измеряемое устройство должно быть totally экранировано, в боксе без щелей и зазоров.

2 – Измерительный бокс должен быть изнутри покрыт слоем изолятора, чтобы избежать эффектов утечки электронов по поверхности на котором лежит измеряемое устройство и эмиссионных эффектов. Для этих целей хорошо подходит сапфир и фторопласт-4(он-же Teflon, PTFE). Сапфир материал дорогой, по этому обычно любители применяют PTFE. У него есть так-же хорошая особенность, он генерирует малый ЭДС при механическом воздействии. Другие материалы применять нельзя, поскольку они имеют значительное сопротивление и им свойственно генерировать значительные токи при мех. воздействии.

3 – Поскольку грязь и жир на поверхности устройств в измерительном боксе имеет значительное сопротивление, их нужно педантично удалять. Для этих целей разрешается применять Метанол (CH<sub>3</sub>OH) очень высокой степени чистоты.

4 – Провода в измерительном боксе должны иметь изоляцию из PTFE (привет старому родному МГТФ !)

5 – Температура и влажность в измерительном боксе должна контролироваться, дабы учесть их влияние на результат измерений.

Вы же не думали что на этом наши мучения закончились и мы можем приступать к измерениям? 😊

Теперь важно как мы будем подводить провода от бокса к измерителю.

Обычные провода применять нельзя, поскольку наводки на них все сведет на нет.

Чтобы оградить вход амперметра от наводок применяют кабеля коаксиального типа, а точнее "Триаксиал с лубрикантом". Тсс... это не тот лубрикант о котором все сразу подумали 😅

Все дело в том, что если применить обычный коаксиал, мы экранируемся от наводок, но получим два негативных эффекта: 1 - сопротивление между центральной жилой и экраном. 2 – трибоэлектрический эффект, проще говоря, наш кабель начнет "микрофонить", т.к. при вибрации кабеля жила и оплетка будет немного тереться о материал изолятора, и за счет трибоэлектрического эффекта образуется эмиссия ненужных нам электронов.

"Триаксиал с лубрикантом" эти проблемы решает:

1 - трибоэлектрический эффект устраняется тем, что центральная жила кабеля покрыта лубрикантом (обычно графитовая смазка).

2 – утечка устраняется тем, что в кабеле не одна, а две независимые друг от друга оплетки, и на среднюю из них подается потенциал близкий к потенциальному центральной жилы, как результат, ток утечки по диэлектрику становится равен нулю.

3 – Плюс к этому термоэлектрические эффекты Зеебека устраняются тотальным золочением всех сопряжений в разъемах.

Такие кабеля сделать самому обычно нельзя, т.к. триаксиал кабеля с лубрикантом заказная позиция, которую насколько мне известно делают только для крупных метрологических брендов на подобии Keysight и Keithley. Но можно купить их у этих брендов уже готовые, с разъемами, естественно по цене крыла от F-22. 💰

В качестве прибора для измерений таких токов, там потребуется современный источник-измеритель на подобии Keithley 2450 или более специализированный прибор "Электромер" на подобии Keysight B2985A. Несмотря на то, что стоимость электромеров, эквивалентна цене двигателей от F-22, это единственный класс приборов, способных измерить фемто и атто-амперные токи. Современные модели электромеров зачастую имеют на борту программируемый источник напряжения от -1000В до +1000В. Благодаря чему, можно измерять сверх-высокие сопротивления, до десятков ПетаОм, поскольку закон Ома ( $R=U/I$ ) все еще работает. 🔧

Несмотря на все эти ухищрения, вездесущий шум питающей сети 220В всеравно умудряется проникнуть в измерительные цепи, по этому важно чтобы электромер умел его фильтровать. Для этого измерительный тракт прибора четко синхронизируется с частотой и фазой питающей сети.

При должном перфекционистском подходе в строительстве таких измерительных комплексов можно ответить на ряд важнейших вопросов и факторов:

- Каково фактическое сопротивление тексталита между дорожками.

- Определение утечек по лаковым покрытиям.

- Отбраковка материалов в схемах с фемто-амперными смещениями.

- Токи утечки по керамическим конденсаторам.

- Построение ВАХ полупроводников в схемах?

- Построение ВАХ полупроводников в схемах с обратным включением.

- Эффекты высоковольтной притирки компонентов.

- Анализ материалов.

- И многое другое.

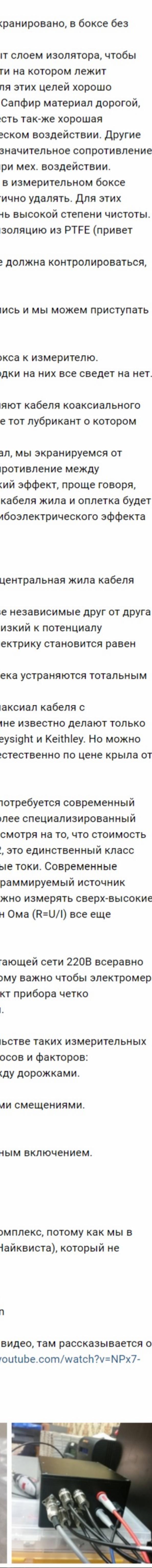
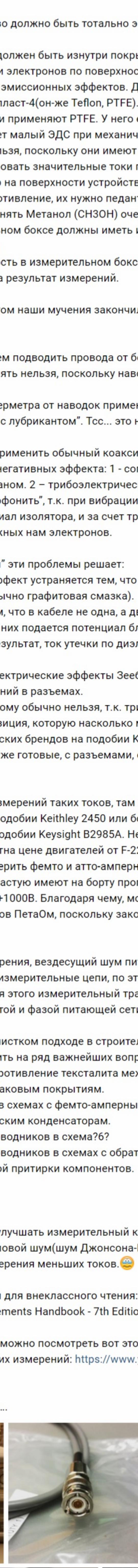
Ну а дальше, нет смысла улучшать измерительный комплекс, потому как мы в плотную упираемся в тепловой шум(шум Джонсона-Найквиста), который не позволяет проводить измерения меньших токов. 😊

Рекомендуемый материал для внеклассного чтения:

Keithley: Low Level Measurements Handbook - 7th Edition

Так-же для саморазвития можно посмотреть вот это видео, там рассказывается о некоторых проблемах таких измерений: <https://www.youtube.com/watch?v=NPx7-60Hr0>

Ну а теперь немного фото....



38

30

8

3.3K