LiteVNA: антенны и КСВ

Конспект и методичка

LiteVNA

Источники и статус сведений

- **Материал курса:** характеристики LiteVNA 62/64, названия меню, последовательность `OPEN -> SHORT -> LOAD -> THRU`, маркеры, TDR/DTF, MicroSD и NanoVNA-APP взяты из `school/LiteVNA_230607_154255.pdf`.
- **Проверено отдельно:** связь SWR, коэффициента отражения и Return Loss; назначение S11/S21; влияние плоскости калибровки; невозможность определить КПД и усиление только по SWR.
- **Практические рекомендации:** выбор узкой полосы, контрольный замер LOAD, сравнение антенны отдельно и на раме, порядок безопасной проверки дрона. Это рабочая методика, а не дословный текст руководства.
- **Версионная оговорка:** характеристики скорости, динамического диапазона, числа точек и часть меню зависят от hardware revision и firmware. Сначала проверить `CONFIG -> VERSION`.

Назначение

LiteVNA - портативный двухпортовый векторный анализатор цепей (VNA, Vector Network Analyzer). Он подаёт собственный малосигнальный сигнал с перестраиваемой частотой и измеряет комплексное отношение падающей, отражённой и прошедшей волн.

Это не анализатор спектра и не измеритель мощности передатчика. Нельзя подключать выход включённого VTX, радиостанции или другого передатчика прямо к порту LiteVNA.

Практическое применение для FPV:

- проверка согласования антенн и поиск резонанса по S11, `Return Loss` и SWR/КСВ;
- оценка импеданса антенны на диаграмме Смита;
- измерение потерь кабеля, переходника, фильтра и другого пассивного тракта по S21;
- проверка полосы пропускания фильтра;
- поиск неоднородности или примерного места повреждения кабеля в режимах TDR/DTF;
- сравнение антенны отдельно и после установки на раму.

Иллюстрация исходника: Подключение LiteVNA для измерения S11. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Что измеряют каналы

Статус: определения и формулы проверены отдельно; название каналов и режим T/R подтверждены руководством курса.

- `PORT 1`, S11 - отражение от входа DUT. Это основной режим для антенн.
- `PORT 1 -> PORT 2`, S21 - прохождение сигнала через DUT. Используется для кабелей, фильтров, аттенюаторов и других двухпортовых устройств.
- Прибор описан как T/R VNA: штатно измеряет S11 и прямой S21, но не полный набор S11/S21/S12/S22 без перестановки DUT.

Связанные величины:

- Gamma - комплексный коэффициент отражения;
- Return Loss = -20 log10(|Gamma|), большее положительное значение лучше;
- SWR = (1 + |Gamma|) / (1 - |Gamma|), значение ближе к 1 лучше;
- доля отражённой мощности равна |Gamma|^2.

Ориентиры:

SWR	Return Loss	Отражённая мощность
1.2	20.8 dB	0.8%
1.5	14.0 dB	4.0%
2.0	9.5 dB	11.1%
3.0	6.0 dB	25%

Указанный в курсовых материалах ориентир SWR <= 1.5 означает не «идеальную» антенну, а приемлемое согласование в нужной полосе. Диаграмму направленности, КПД и реальное усиление одной только кривой SWR определить нельзя.

Параметры из руководства курса

Статус: материал курса. Значения не переносить на другую аппаратную ревизию без проверки.

Файл school/LiteVNA_230607_154255.pdf описывает LiteVNA 62 и 64:

- частотный диапазон: 50 kHz - 6.3 GHz;
- динамический диапазон: более 70 dB ниже 3 GHz и более 50 dB от 3 GHz, после калибровки;
- шумовой уровень S11: ниже -50 dB до 3 GHz и ниже -40 dB выше 3 GHz, после калибровки;
- стабильность частоты: менее 0.5 ppm при 0-50 C;
- скорость: более 550 точек/с при усреднении 1;
- точки развёртки на приборе: 10-1001; по USB: 1-1024;
- питание: USB 5 V; аккумулятор 1300 mAh у LiteVNA 62 и 2000 mAh у LiteVNA 64;
- SMA female; экран 2.8 дюйма у модели 62 и 3.95 дюйма у модели 64.

Числа зависят от аппаратной ревизии и прошивки. В более свежей онлайн-редакции руководства указаны иные скорость, минимальное число точек, предел USB-точек и динамический диапазон для некоторых ревизий. Сначала проверить CONFIG -> VERSION, затем сверять возможности конкретного экземпляра. Автоматически переносить новые цифры на старую ревизию нельзя.

Калибровка OSLT

Статус: последовательность меню взята из руководства; пояснение плоскости калибровки и контрольные проверки добавлены как инженерная практика.

Иллюстрация исходника: Последовательность калибровки LiteVNA. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Главное правило: калибровать в той плоскости, где будет подключён DUT. Все кабели и переходники между LiteVNA и DUT должны быть установлены до калибровки и после неё не меняться.

Порядок из руководства:

1. Задать узкий рабочий диапазон через STIMULUS -> START/STOP или CENTER/SPAN.

2. Подключить измерительные кабели и переходники.
3. Выбрать `CAL -> RESET`, затем `CALIBRATE`.
4. На конце кабеля PORT 1 последовательно выполнить `OPEN`, `SHORT`, `LOAD`.
5. Соединить концы кабелей PORT 1 и PORT 2 напрямую и выполнить `THRU`.
6. Нажать `DONE` и сохранить набор через `SAVE n`. Слот 0 загружается при старте автоматически.
7. Подключить DUT и измерять, не изменяя измерительную оснастку.

Калибровку повторить, если изменены кабель/переходник, существенно изменён диапазон, разъёмы были переподключены в другой плоскости или нужна повышенная точность. Интерполяция сохранённой калибровки после изменения частот предусмотрена, но руководство прямо рекомендует перекалибровку для точных измерений.

Быстрая проверка калибровки:

- `LOAD 50 Ohm` должен показывать низкое отражение и SWR около 1 в рабочей полосе;
- `OPEN` и `SHORT` должны идти по краю диаграммы Смита с ожидаемо противоположной фазой;
- `THRU` между портами должен давать S21 около 0 dB с учётом качества кабелей и переходников.

На верхних гигагерцах качество калибровочного комплекта, SMA-переходников и повторяемость затяжки становятся критичными.

Практика в FPV-дроне

Актуальная инструкция, уточнённая по практическому измерению 5.8 GHz антенны и критерию `SWR <= 1.5`:

- пошаговая инструкция от выключенного прибора до результата;
- мобильная PDF-версия (исходный материал вне поставки: `output/pdf/litevna_antenna_swr_mobile.pdf`).

Где применяется:

- антенна канала управления около 868/915 MHz;
- антенна видеотракта, обычно 5.8 GHz;
- штатный коаксиальный пигтейл, SMA/RP-SMA/MMCX/U.FL-переходы;
- выходной фильтр и пассивная часть RF-тракта.

Что проверяется:

- входит ли вся нужная рабочая полоса в условие `SWR <= 1.5`;
- не сдвинулся ли резонанс после установки рядом с карбоном, аккумулятором и проводкой;
- что реально видит RF-модуль через штатный пигтейл и разъёмы;
- нет ли дополнительных потерь, плохого контакта или повреждения кабеля.

Иллюстрация исходника: Два варианта практического измерения на FPV-дроне. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Безопасная проверка реального дрона:

1. Снять пропеллеры и отключить LiPo.
2. Отсоединить антенну или штатный пигтейл от RX/TX/VTX. Активный RF-модуль не должен быть соединён с LiteVNA.

3. Для проверки антенны отдельно откалиброваться у её входного разъёма и измерить антенну в свободном пространстве.
4. Установить антенну на раму в штатное положение. Электронику и аккумулятор можно разместить на своих местах, но не подавать питание.
5. Повторить S11/SWR, сохранив положение измерительного кабеля. Если кабель или переходник изменён - повторить OSLT.
6. Для проверки всего тракта откалиброваться в точке, где обычно подключён RF-модуль, затем измерить штатный пигтейл, разъёмы и антенну вместе.
7. Сравнить минимум SWR, границы `SWR = 1.5` и SWR на рабочих частотах. После измерения полностью убрать LiteVNA и только затем восстановить соединение RF-модуля.

Практический вывод: замер A характеризует антенну, замер B - весь установленный антенно-фидерный тракт. Для решения о пригодности на дроне важнее замер B.

1. Выбрать не весь диапазон 50 kHz - 6.3 GHz, а только нужную полосу: например, вокруг 868/915 MHz, 2.4 GHz или 5.8 GHz.
2. Откалибровать PORT 1 на конце того кабеля/переходника, которым антенна будет подключена.
3. Включить трассы `S11 LOGMAG`, `S11 SWR` и при необходимости `S11 SMITH`.
4. Поставить маркеры на нижнюю границу, центр, верхнюю границу рабочей полосы и минимум S11/SWR.
5. Измерить антенну в свободном пространстве, не держа её рукой рядом с излучающей частью.
6. Повторить измерение в штатной установке на раме. Карбон, аккумулятор, проводка, защитные элементы и положение кабеля могут сдвинуть резонанс.
7. Сохранить результат в `SNP` и снимок экрана в `BMP`, подписав конфигурацию.

Минимальный полезный результат: SWR на границах и в центре рабочего канала, частота минимума SWR, импеданс в этой точке и сравнение «отдельно / на раме».

Иллюстрация исходника: Определение рабочей полосы по уровню SWR 1.5. (Изображение не включено в текстовую базу.)

S21 для кабеля и фильтра

После полной OSLT-калибровки подключить DUT между PORT 1 и PORT 2 и выбрать `S21 LOGMAG`.

- Для кабеля или переходника отрицательное значение показывает внесённые потери.
- Для фильтра видны полоса пропускания, затухание вне полосы и неравномерность.
- Если у пассивного DUT устойчиво получается положительное усиление, сначала проверить калибровку, выбранный канал, оснастку и уровень сигнала.

Активные устройства измерять только со схемой безопасного питания и развязки, известными уровнями на обоих портах и подходящими аттенюаторами. В руководстве курса максимальная допустимая внешняя RF-мощность и допустимое DC-напряжение на портах не указаны, поэтому подключать неизвестный активный выход нельзя.

TDR/DTF

LiteVNA преобразует частотные данные во временную область через `IFFT`:

- большая полоса частот улучшает разрешение по расстоянию;
- меньший шаг частоты увеличивает максимальную однозначно измеряемую длину;

- это компромисс между дальностью и пространственным разрешением;
- для перевода времени в расстояние нужно задать VELOCITY FACTOR кабеля, например 67, а не 0.67;
- MINIMUM window даёт лучшее разрешение, MAXIMUM - лучший динамический диапазон, NORMAL - компромисс.

Для low-pass TDR руководство требует START = 50 kHz и формат REAL. Практическое учебное упражнение: измерить один и тот же кабель с открытым и замкнутым дальним концом, затем найти конец кабеля по известному velocity factor.

Что ещё есть в руководстве

- главный экран, меню, экранная клавиатура и управление Jog;
- до четырёх трасс и до восьми маркеров;
- форматы LOGMAG, phase, delay, Smith, SWR, polar, linear, real, imag, resistance и reactance;
- сохранение до семи наборов калибровки и настроек;
- MicroSD до 32 GB, FAT/FAT32, сохранение SNP и BMP;
- NanoVNA-APP: управление развёрткой, маркеры, экспорт SNP/CSV, снимок экрана, калибровка и обновление прошивки;
- USB CDC-протокол, регистры, FIFO сырых комплексных данных и DFU. Этот раздел нужен разработчику ПО, а не для обычной настройки антенн.

Техника безопасности и типичные ошибки

- Не подключать к LiteVNA работающий VTX/передатчик: прибор сам является источником тестового сигнала, а не нагрузкой для мощного RF-выхода.
- Не подавать неизвестное постоянное напряжение на RF-порты.
- Не калибровать на разъёме прибора, если затем добавляется кабель: кабель станет частью результата.
- Не оценивать антенну только по частоте минимального SWR; важна вся рабочая полоса.
- Не считать хороший SWR доказательством хорошего КПД или усиления: потери тоже могут улучшить согласование.
- Не шевелить кабель и не касаться антенны при измерении; обязательно сравнивать отдельную антенну и установленную на аппарат.
- Не растягивать sweep на весь диапазон без необходимости: на узкой полосе точки используются полезнее, а калибровка соответствует задаче.
- Не обновлять прошивку случайным файлом: сначала зафиксировать модель, hardware revision и текущую версию, затем использовать файл именно для LiteVNA 62/64 и своей ревизии.

LiteVNA: измерение рабочей полосы антенны по SWR <= 1.5

PDF-версия (исходный материал вне поставки: `output/pdf/litevna_antenna_swr_mobile.pdf`)

Пошаговая инструкция для человека, который впервые достал выключенный LiteVNA из коробки.

Результат измерения:

- `fниж` - нижняя частота, где SWR около 1.5;
- `fверх` - верхняя частота, где SWR около 1.5;
- `fmin` - частота минимального SWR;
- `SWRmin` - минимальный SWR;
- рабочая полоса - интервал `fниж ... fверх`, где `SWR <= 1.5`.

Что должно быть в комплекте

- LiteVNA;
- два защитных измерительных хвоста 50 Ohm;
- проходной переходник THRU;
- стандарты `OPEN`, `SHORT`, `LOAD 50 Ohm`;
- переходник к антенне, если нужен;
- измеряемая антенна.

Иллюстрация исходника: Калибровочные стандарты из комплекта: OPEN, SHORT и LOAD 50 Ohm. (Изображение не включено в текстовую базу.)

На фотографии слева `OPEN`, по центру `SHORT`, справа `LOAD 50 Ohm`. Переходник THRU на фотографии не показан.

Проверка мультиметром между центральным контактом и корпусом:

```
OPEN       - обрыв, OL
SHORT      - около 0 Ohm
LOAD 50    - около 50 Ohm
```

THRU имеет разъёмы с двух сторон. Центральные контакты соединены между собой, корпуса также соединены, но центр не должен звониться на корпус.

Часть 1. Подключение и калибровка

Шаг 1. Обезопасить оборудование

Если антенна установлена на дроне:

1. Снять пропеллеры.
2. Отключить LiPo.
3. Отсоединить антенну от VTX, RX или другого RF-модуля.
4. Измерять только пассивную антенну.

ВАЖНО: нельзя подключать LiteVNA к выходу включённого передатчика.

Шаг 2. Подготовить рабочее место

1. По возможности убрать металлические предметы.

2. Подготовить картон, пенопласт или другую неметаллическую подставку.
3. Пока не подключать антенну.

На 5.8 GHz даже движение руки или кабеля может заметно менять график.

Шаг 3. Прикрутить защитные хвосты

Прибор пока выключен.

1. Первый хвост прикрутить к S11 / PORT 1.
2. Второй хвост прикрутить к S21 / PORT 2.
3. Если между хвостом PORT 1 и антенной нужен переходник, установить его сейчас.
4. Затягивать разъёмы пальцами за гайку.
5. Не вращать сам кабель.

Иллюстрация исходника: Подключение хвоста и положение плоскости калибровки. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Свободный конец цепочки PORT 1 -> хвост -> переходник является плоскостью калибровки. Сюда подключаются стандарты, а после проверки - антенна.

После калибровки хвосты и переходники от прибора не откручивать.

Шаг 4. Включить LiteVNA

1. Перевести выключатель питания в положение ON.
2. Дождаться появления графика.

Как открыть главное меню

1. Один раз коснуться свободного места графика.
2. Не нажимать на кривую, маркер или надписи.
3. Второй способ - коротко нажать Jog.

Справа появится главное меню с пунктами DISPLAY, MARKER, STIMULUS, CALIBRATE, RECALL, SD CARD, CONFIG.

Иллюстрация исходника: Главное меню LiteVNA. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Как вернуться назад

Во вложенном меню нажимать < BACK. Каждое нажатие возвращает на один уровень.

Как полностью закрыть меню

На уровне главного меню коснуться свободного места графика слева от меню или коротко нажать Jog. Боковые кнопки исчезнут.

Шаг 5. Выбрать диапазон частот

Диапазон задаётся до калибровки.

Для антенны с маркировкой 5.8 GHz начать с:

```
START 4.8 GHz
STOP  6.2 GHz
```

Установить START:

1. Открыть меню.
2. Нажать STIMULUS.
3. Нажать START.

4. Набрать 4, ., 8.
5. Нажать G.

Маршрут: STIMULUS -> START -> 4 -> . -> 8 -> G.

Установить STOP:

1. Снова открыть меню.
2. Нажать STIMULUS.
3. Нажать STOP.
4. Набрать 6, ., 2.
5. Нажать G.

Маршрут: STIMULUS -> STOP -> 6 -> . -> 2 -> G.

Иллюстрация исходника: Меню STIMULUS. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Иллюстрация исходника: Клавиатура ввода частоты. (Изображение не включено в текстовую базу.)

ПРОВЕРКА: внизу экрана должны появиться START 4.800 GHz и STOP 6.200 GHz.

Для первого поиска достаточно 201p. После обнаружения рабочей области можно сузить диапазон и повторить калибровку для более точного результата.

Шаг 6. Сбросить старую калибровку

Антенна всё ещё не подключена.

1. Открыть главное меню.
2. Нажать CALIBRATE или CAL.
3. Нажать RESET.
4. В этом же меню нажать CALIBRATE.

Маршрут: CALIBRATE -> RESET -> CALIBRATE.

Теперь прибор ожидает последовательное подключение стандартов.

Шаг 7. Выполнить OPEN

1. К плоскости калибровки PORT 1 прикрутить OPEN.
2. На экране нажать OPEN.
3. Дождаться завершения.

Сначала подключить стандарт, только потом нажать соответствующую кнопку.

Шаг 8. Выполнить SHORT

1. Открутить OPEN.
2. Прикрутить SHORT.
3. Нажать на экране SHORT.
4. Дождаться завершения.

Шаг 9. Выполнить LOAD 50 Ohm

1. Открутить SHORT.
2. Прикрутить LOAD 50 Ohm.
3. Нажать на экране LOAD.

4. Дождаться завершения.

Не перепутать LOAD с металлической заглушкой или нагрузкой 75 Ohm.

Шаг 10. Выполнить THRU

1. Открутить LOAD от хвоста PORT 1.
2. Соединить свободные концы хвостов PORT 1 и PORT 2.
3. При необходимости использовать проходной переходник.
4. На экране нажать THRU.
5. Дождаться завершения.

Схема на время THRU: PORT 1 -> хвост 1 -> THRU -> хвост 2 -> PORT 2.

Иллюстрация исходника: Последовательность OPEN, SHORT, LOAD и THRU. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Шаг 11. Завершить и сохранить калибровку

1. Нажать DONE.
2. В появившемся меню нажать SAVE 0.
3. Вернуться к графику.

На экране должен появиться индикатор C0 и выполненных стандартов S O L T.

Калибровка действует только для текущего диапазона, хвостов, переходников и плоскости измерения.

Часть 2. Проверка калибровки

Шаг 12. Оставить одну трассу

Открыть DISPLAY -> TRACES.

Нужно оставить только TRACE 0.

Если включены TRACE 1, TRACE 2 или TRACE 3:

1. Нажать нужную трассу, чтобы выбрать её.
2. Если она не выключилась, нажать её второй раз.
3. Повторить для остальных лишних трасс.

Если TRACE 0 случайно исчезла, нажать TRACE 0 ещё раз.

Иллюстрация исходника: Меню выбора трасс. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Шаг 13. Выбрать S11 SMITH

1. Выбрать DISPLAY -> CHANNEL -> S11.
2. Выбрать DISPLAY -> FORMAT -> SMITH.

Наверху экрана должно быть S11 SMITH.

Шаг 14. Проверить стандарты на диаграмме Смита

При проверке кнопки калибровки больше не нажимать. Стандарты только прикручиваются к хвосту PORT 1.

1. LOAD 50 Ohm должен находиться около центра.
2. OPEN должен находиться около правого края.

3. SHORT должен находиться около левого края.

Иллюстрация исходника: Положение LOAD, OPEN и SHORT на диаграмме Смита. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Если LOAD далеко от центра или точки прыгают при касании разъёма, проверить контакты и повторить калибровку.

Шаг 15. Проверить LOAD числом

1. Оставить LOAD 50 Ohm подключённым.
2. Выбрать DISPLAY -> FORMAT -> SWR.
3. Посмотреть последнее число в строке S11 SWR.

Нормальный результат - SWR около 1.00. В практической проверке LOAD показал 1.021.

Если LOAD показывает около 1.0, калибровка, PORT 1, хвост и переходники работают.

Часть 3. Измерение антенны

Шаг 16. Подключить антенну

1. Открутить LOAD 50 Ohm.
2. На его место прикрутить антенну.
3. Не снимать хвост и переходники с LiteVNA.
4. Разместить антенну на неметаллической подставке.
5. Не держать излучающую часть рукой.
6. Зафиксировать кабель.

Иллюстрация исходника: Практическое подключение 5.8 GHz антенны к PORT 1. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Ориентировочное расстояние от рук и металла:

```
5.8 GHz     - не менее 15-20 см
2.4 GHz     - не менее 20-30 см
868/915 MHz - не менее 30-50 см
```

Шаг 17. Проверить экран

На экране должна быть одна жёлтая трасса S11 SWR.

Если указано другое:

1. DISPLAY -> TRACES - оставить TRACE 0.
2. DISPLAY -> CHANNEL -> S11.
3. DISPLAY -> FORMAT -> SWR.

Шаг 18. Включить MARKER 1

1. Открыть MARKER.
2. Нажать SELECT MARKER.
3. Нажать MARKER 1.
4. Вернуться к графику.

Маршрут: MARKER -> SELECT MARKER -> MARKER 1.

Маркер перемещается колесом Jog или пальцем.

Иллюстрация исходника: Меню выбора маркера. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Шаг 19. Правильно читать маркер

Белая строка `M1: 5.192 GHz` показывает частоту маркера.

В жёлтой строке `S11 SWR 250m/ 1.098`:

- `250m/` - масштаб графика;
- `1.098` - измеренный SWR на частоте маркера.

Иллюстрация исходника: Где находится частота маркера и измеренное значение SWR. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Если вместо числа показано ∞, прибор видит разрыв цепи или почти полное отражение.

Шаг 20. Найти минимальный SWR

1. Медленно перемещать MARKER 1 по всему диапазону.
2. Следить за последним числом в жёлтой строке.
3. Найти самое маленькое значение.
4. Записать частоту как `fmin`.
5. Записать значение как `SWRmin`.

Пример: `fmin = 5.192 GHz`, `SWRmin = 1.098`.

Шаг 21. Найти нижнюю границу

1. Оставить MARKER 1 в точке минимума.
2. Включить `MARKER 2`.
3. Перемещать его в сторону меньших частот.
4. Найти значение, ближайшее к `SWR 1.50`.
5. Записать частоту как `fниж`.

Точно попасть в `1.500` необязательно. Выбрать ближайшую доступную точку.

Шаг 22. Найти верхнюю границу

1. Включить `MARKER 3`.
2. Перемещать его от минимума в сторону больших частот.
3. Найти правое пересечение уровня `SWR 1.50`.
4. Записать частоту как `fверх`.

Если на графике несколько провалов:

- максимум между провалами ниже 1.5 - это одна непрерывная полоса;
- максимум между провалами выше 1.5 - это отдельные полосы.

Шаг 23. Рассчитать рабочую полосу

Формула: `ширина полосы = fверх - fниж`.

Практический результат для проверенной антенны с маркировкой 5.8 GHz:

```
fниж  около 5.003 GHz
fmin         5.192 GHz
SWRmin       1.098
fверх около  5.773 GHz
```

Ширина полосы:

```
5.773 - 5.003 = 0.770 GHz = 770 MHz
```

Иллюстрация исходника: Практический график с минимумом и границами SWR 1.5. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Рабочая полоса при `SWR <= 1.5` получилась примерно `5.00-5.78 GHz`. Между двумя резонансными провалами SWR оставался ниже 1.5, поэтому полоса непрерывная.

Результат приблизительный: рядом находились металлические предметы, поэтому положение кривой немного менялось.

Шаг 24. Записать результат

```
Антенна:
Маркировка:
Разъём:
Хвост и переходники:

Положение антенны:
Окружающие предметы:

START:
STOP:
Количество точек:

fниж при SWR около 1.5:
fmin:
SWRmin:
fверх при SWR около 1.5:

Рабочая полоса:
Ширина полосы:
Примечания:
```

Практика в FPV-дроне

- Для VTX-антенны обычно проверяют область около 5.8 GHz.
- Для ELRS/Crossfire проверяют 868/915 MHz или 2.4 GHz в зависимости от версии.
- Антенну измеряют отдельно от включённого RF-модуля.
- После измерения LiteVNA полностью отсоединяют и только затем восстанавливают штатное соединение.
- Хороший SWR показывает согласование, но не доказывает хороший КПД, усиление или диаграмму направленности.

Источники и статус

- Материал курса: названия меню, настройка START/STOP, OSLT-калибровка, S11/S21, форматы и маркеры взяты из `school/LiteVNA_230607_154255.pdf`.
- Практически проверено: подключение через защитные хвосты, очистка лишних трасс, контроль LOAD со SWR 1.021, чтение маркеров и измерение 5.8 GHz антенны.
- Самостоятельно проверено: смысл S11/SWR, критерий полосы `SWR <= 1.5` и ориентиры длины волны.
- Результат конкретной антенны зависит от установки, окружающих предметов и качества калибровочных стандартов.

Приложение A. Если на антенне нет маркировки

Сначала проверить надписи на термоусадке, печатной плате, наклейке кабеля, упаковке и название модели.

По одному разъёму определить частоту нельзя.

Иллюстрация исходника: Грубый ориентир диапазона по размеру активной части. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Приблизительная четверть длины волны:

```
433 MHz      - около 17 см
868/915 MHz  - около 8-9 см
1.2 GHz      - около 6 см
2.4 GHz      - около 3 см
5.8 GHz      - около 13 мм
```

Это только ориентир. Спирали, меандры, согласующие элементы и диэлектрики изменяют реальный размер. Длина коаксиального кабеля не является длиной излучателя.

Типичные применения:

```
433 MHz       - отдельные дальнобойные системы
868/915 MHz   - ELRS, Crossfire
1.2/1.3 GHz   - аналоговое видео
2.4 GHz       - управление, ELRS, цифровое видео
5.8 GHz       - FPV-видео
```

Для неизвестной антенны последовательно проверить диапазоны:

```
0.35-0.50 GHz
0.75-1.05 GHz
1.10-1.40 GHz
2.20-2.60 GHz
4.80-6.20 GHz
```

Для каждого диапазона выполнить новую калибровку. После обнаружения провала сузить диапазон вокруг него и снова откалиброваться.

Наличие провала не доказывает, что найден основной диапазон: у антенны могут быть гармоники и несколько резонансов.

Приложение Б. Если что-то пошло не так

На экране много разноцветных линий

Это одновременно включены несколько трасс.

Иллюстрация исходника: Лишние трассы S11 и S21 на одном экране. (Изображение не включено в текстовую базу.)

1. Открыть `DISPLAY -> TRACES`.
2. Оставить `TRACE 0`.
3. Выключить `TRACE 1`, `TRACE 2`, `TRACE 3`.
4. Выбрать `DISPLAY -> CHANNEL -> S11`.
5. Выбрать `DISPLAY -> FORMAT -> SWR`.

Вместо SWR отображается круг с сеткой

Выбрана диаграмма Смита. Нажать `DISPLAY -> FORMAT -> SWR`.

На экране написано S21

Выбран второй канал. Нажать `DISPLAY -> CHANNEL -> S11`.

Антенна должна быть подключена к `S11 / PORT 1`.

Маркер двигается, но непонятно, где число

Частота находится в белой строке `M1`. SWR находится последним числом в жёлтой строке `S11  SWR`. Значение `250m/` является масштабом.

Кривой не видно, а на экране ∞

Трасса находится у верхней границы экрана. ∞ означает почти полный обрыв или отражение.

Иллюстрация исходника: SWR равен бесконечности при разрыве цепи. (Изображение не включено в текстовую базу.)

Возможные причины:

- ничего не подключено;
- подключён OPEN или SHORT;
- антенна подключена к PORT 2;
- нет центрального контакта;
- несовместимы SMA и RP-SMA;
- повреждён хвост, переходник или антенна.

Проверка: подключить `LOAD 50 Ohm` вместо антенны. Если LOAD показывает около 1.0, прибор и тракт исправны, а проблема находится в антенне или её разъёме. Если LOAD также показывает ∞, проверять PORT 1, хвост, переходник и калибровку.

С LOAD получается около 1.02

Это хороший результат. Калибровка и соединения работают.

С LOAD получается больше 1.1-1.2

Проверить затяжку, центральные контакты, SMA/RP-SMA, качество LOAD, плоскость калибровки и соответствие диапазона сохранённой калибровке.

Минимальный SWR антенны выше 1.5

В выбранном диапазоне антенна не соответствует критерию `SWR <= 1.5`. Проверить диапазон, разъём, состояние кабеля и влияние окружающих предметов.

Кривая постоянно двигается

Зафиксировать кабель и антенну на неметаллической подставке. Убрать руку, металл, аккумулятор и карбоновую раму. Оценивать результат без касания.

На графике несколько провалов

Если участок между ними остаётся ниже 1.5, это одна непрерывная полоса. Если поднимается выше 1.5, записать отдельные полосы.

Кривая ниже 1.5 до края экрана

Граница находится за пределами диапазона. Расширить START или STOP, затем обязательно повторить калибровку.

Разъёмы закручиваются, но сигнала нет

Проверить центральные контакты SMA и RP-SMA. Резьба может совпасть, но внутри окажутся два гнезда без контактного штыря.

Иллюстрация исходника: Совместимый центральный контакт и несовместимое соединение двух гнёзд. (Изображение не включено в текстовую базу.)