

Особенности схемотехники, подбор элементов.

ОУ недопустимо покупать у непрверенных поставщиков в т.ч у китайцев. В условиях дефицита (02.2022) на INA826 контрафактнеМС могут реализовываться и уважаемыми магазинами. МК брать у китайцев нежелательно, хотя и есть положительные отзывы по работоспособности. На качество работы прибора напрямую влияют встроенные АЦП которые в китайских МК могут быть низкого качества.

В схеме имеются элементы, которые должны быть прецизионные, либо специально подобранные. Качество подбора напрямую влияет на точность измерения.

К таким элементам относятся:

- Токовые шунты R1, R2 должны быть прецизионные резисторы с точностью 0,1%.

Должны строго подбираться пары элементов в каналах напряжения и тока , абсолютный номинал не столько критичен, важно абсолютное равенство значений в паре. Отклонение в значениях в паре приведет к повышению погрешностей. Необязательно брать 0,1% резисторі, можно взять в избытке 1-5% и отсортировать равные.

R13=R15

R18=R20

R26=R27

C16=C18

Конденсаторы влияют тем больше, чем выше рабочая частота, низкокачественніе дополнительно вносят искажения в сигнал и снижают точность, должны устанавливаться обязательно NP0, подобранные в пары:

C16=C18,

C24=C25.

Данные конденсаторы можно не устанавливать до полного монтажа и настройки прибора, а отсортировать самим же прибором и установить после полного запуска.

Первичная оценка работоспособности. Проведение доработок.

Собранный из качественных и подобранных элементов прибор в настройке не нуждается. Даже без калибровок должен измерять с погрешностью не хуже 0.5% в центре диапазона 100 Ом- 100K. Если это не так, следует искать причину, прежде всего в аналоговой части.

Не пытайтесь калибровать прибор с криво работающей аналоговой частью, необходимо найти и устранить причину,

Для поиска неисправностей имеются ряд встроенных инструментов:

- Инженерный экран
- Осциллографический экран
- Отключение ДАК в меню- позволяет отключить тестовый сигнал и убедиться в том, что в каждой контрольной точке имеется допустимое значение REF, отсутствует генерация/ возбуд и т.д

电路和元件选择的特殊性。

不允许从未经核实的供应商（包括中国供应商）处购买。在 INA826 短缺（02.2022）的情况下，信誉良好的商店可能会出售假冒 MS。从中国购买 MC 是不可取的，尽管在性能方面有正面反馈。器件的工作质量直接受到内置 ADC 的影响，而国产 MC 的 ADC 质量可能很低。

电路中的一些元件必须经过精密或特殊选择。选择的质量直接影响测量的准确性。

这些元件包括：

- 电流分流器 R1、R2 必须是精度为 0.1% 的精密电阻。

必须严格选择电压和电流通道中的成对元件，绝对标称值并不重要，重要的是成对元件的绝对等值。元件对中的数值偏差会导致误差增大。不一定要选择 0.1% 的电阻，可以选择超过 1-5% 的电阻，并对相等的电阻进行排序。

R13=R15

R18=R20

R26=R27

C16=C18

电容器的影响越大，工作频率越高，劣质电容器会额外引入信号失真并降低精度，必须安装 NP0，成对匹配：

C16=C18，

C24=C25。

这些电容器不能在设备完全安装和调整之前安装，而应在设备完全启动后自行分类安装。

校准和元件选择。

初步性能评估。进行修改。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

校准和元件选择。

由定性和选定元件组装的设备无需调整。即使不进行校准，在 100 欧姆-100 千欧中心范围内的测量误差也不应小于 0.5%。如果不是这样，则应首先在模拟部分查找原因。

不要尝试校准模拟部分歪斜的仪器，必须找到并消除原因、

有许多内置工具可用于排除故障：

- 工程屏幕 - 振荡屏幕

- 菜单中的 DAC 禁用

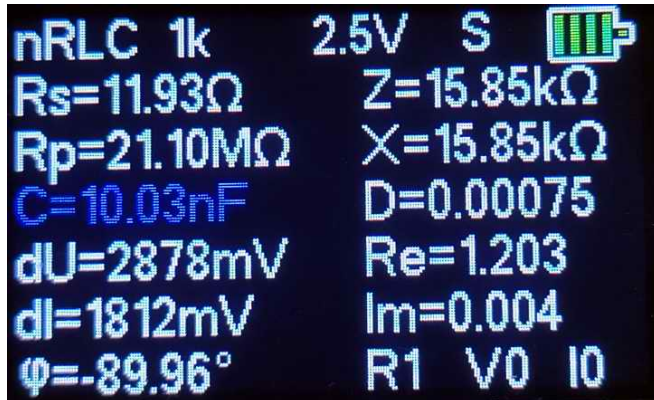
- 允许您禁用测试信号并确保每个测试点都有有效的 REF 值，没有产生/激发等。

- 手动 RUI 设置，允许您手动检查可编程放大器 CG 的可扩展性、每个分流器的单独操作等。

- Ручная установка РУИ, позволяет в ручном режиме проверить масштабируемость КУ программируемого усилителя, работу каждого шунта в отдельности и т.д.

Второй экран

(инженерный), переключается нажатием кнопки «Влево». Отображает всю доступную информацию измерения и расчетов.



Rs- сопротивление последовательное,

Rp- сопротивление параллельное,

C- емкость,

dU- амплитуда АЦП напряжения,

dI- амплитуда АЦП тока

Φи -89.96° - угол фазы каналов напряжения и тока, отрицательный для конденсатора, положительный для индуктивности, близкий к нулю для резистора.

Z - полное (комплексное) сопротивление

X – реактивное сопротивление

D – в данном случае тангенс потерь. Может быть добротность

Re% - СКО активной части сопротивления (среднеквадратичное отклонение) между выборками в цикле измерения, является индикатором точности измерения, однако % СКО не является % погрешности

Im%- СКО реактивной части.

R1V0I0- номер подключенного шунта и КУ ПГА напряжения и тока

R1 - значение подключенного шунта R0-100R, R1-10K,

V0 - Значение КУ PGA канала напряжения V0- КУ=1, V1- КУ=2, V5- КУ=50

I0 - Значение КУ PGA канала тока I0- КУ=1

При разомкнутых щупах обычно отображается большое сопротивление и большая индуктивность, либо большое сопротивление и сверхмалая емкость. При замкнутых - низкое сопротивление и малая индуктивность/ большая емкость. При выходе за

第二个屏幕

(工程)，按 "左" 键切换。显示所有可用的测量和计算信息。

Rs - 串联电阻，

Rp - 并联电阻，

C - 电容，

dU - 电压 ADC 的幅值，

dI - 电流 ADC 的幅值

Phi -89.96° - 电压和电流通道的相位角，电容为负，电感为正，电阻接近零。

Z - 总（复）电阻

X - 电抗

D - 本例中为损耗正切。

Re% - 电阻有功部分的有效值（标准偏差）在测量周期内的采样之间可能有一定的好坏之分，是测量精度的一个指标，但 % RMS 并不是无功部分的

Im% - 有效值误差的 %。R1V0I0- 连接的分流器以及电压和电流 PGA CG 的数量

R1- 连接的分流器的值 R0-100R，R1-10K，

V0- 电压通道 PGA CG 的值 V0- CG=1, V1- CG=2, V5- CG=50

I0- 电流通道的 PGA CG 的值 I0- CG=1

打开时，探头通常显示高电阻和高电感，或高电阻和超低电容。关闭时，显示低电阻、低电感/高电容。超过最大限制时，当计算值超过 OPEN 模式下的合理限制时，可能根本不显示标称值，负阻值也不显示在主屏幕上，这被视为测量/校准错误等。

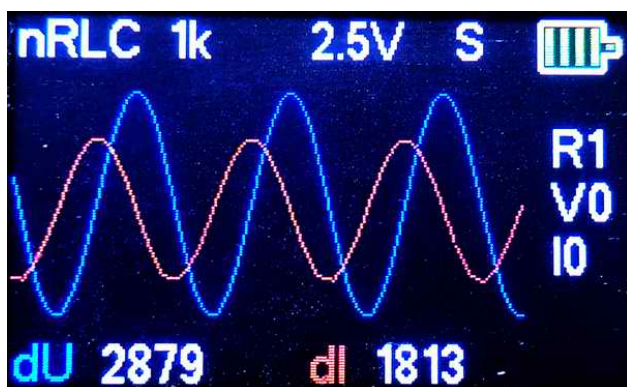
第二个屏幕显示所有数值，包括不正确或超出范围的数值。

максимальные пределы, когда расчетное значение выходит за рациональные пределы в режиме OPEN значения номиналов могут не отображаться вовсе, не отображаются на основном экране так же отрицательные значения сопротивления, что рассматривается как ошибка измерения/ калибровки и т.д.

На втором экране отображаются все значения в т.ч некорректные или выходящие за пределы.

Осциллографический режим

Режим вызывается нажатием кнопки «Вправо». Необходим прежде всего как диагностический инструмент. Отображает амплитуду, форму и разность фаз каналов Напряжения и Тока АЦП МК, 10 и 16 пин МК.



Синий луч- канал напряжения, красный- тока, под лучами отображается числовое значение амплитуд в мВ p-p. Справа- режим RUI- - номер подключенного шунта и КУ ПГА напряжения и тока.

По форме сигналов можно судить о корректности работы прибора. Форма сигналов в установившемся режиме должна быть синусоидальной, без клиппинга «срезания» верхушек, с центральным расположением лучей, без существенных смещений. В момент переключения режимов, например при подключении или отключении детали происходит подбор оптимальных режимов шунтов, КУ усилителей, в этот момент наблюдаются существенные изменения амплитуд, клиппинг.

На скриншоте результат с подключенным измеряемым элементом- конденсатор 10 нФ.

Элемент формирует смещение фазы почти -90 градусов, что проявляется в смещении лучей друг относительно друга.

При измерении резисторов фаза будет почти нулевой. Смещение фазы указывает на наличие реактивного сопротивления емкостной или индуктивной природы.

При измерении сверхмалых сопротивлений (Short) канал тока будет иметь максимальную амплитуду, канал напряжения минимальную. При измерении сверхбольших сопротивлений канал тока будет иметь малую амплитуду, канал напряжения- максимальную. На каналах с малой амплитудой может наблюдаться наличие шума/ наводок, особенно в условиях высокого ЭМ фона или при измерении массивных деталей, на которых могут наводиться помехи.

Программа для ПК имеет окно с отображением осциллограмм напряжения и тока, работает аналогично.

振荡模式

按下 "右" 键即可调用该模式。主要用作诊断工具。显示 MC ADC 的电压和电流通道、MC 的 10 针和 16 针的振幅、形状和相位差。

蓝色光束为电压通道，红色光束为电流通道，光束下方显示以 mV p-p 为单位的振幅数值。右侧 - RUI 模式 - 连接的分流器编号以及 PGA 的电压和电流 CU。

根据信号的形状可以判断设备运行的正确性。在稳态模式下，信号的形状应为正弦曲线，顶部无剪切，射线位于中心位置，无明显位移。在切换模式时，例如连接或断开部件时，会选择分流器、CG 放大器的最佳模式，此时会观察到振幅的显著变化和削波。

截图中的结果与所连接的测量元件 - 10 nF 电容器有关。
该元件形成了近 -90 度的相移，表现为射线之间的相对位移。

测量电阻时，相位几乎为零。相位偏移表明存在电容性或电感性电抗。
测量超小电阻（短路）时，电流通道的振幅最大，电压通道的振幅最小。测量超大电阻时，电流通道的振幅较小，电压通道的振幅最大。低振幅通道可能会产生噪音/干扰，尤其是在高电磁背景条件下或测量可能产生干扰的大部件时。PC 软件有一个显示电压和电流波形的窗口，工作方式相同

Контрольные значения

Приводятся скриншоты с параметрами работы авторского экземпляра прибора, **тестовый сигнал 2,5В 1,кГц, прибор не калиброван.**

Если ваши значения сильно отличаются – что-то пошло не так.

Опен



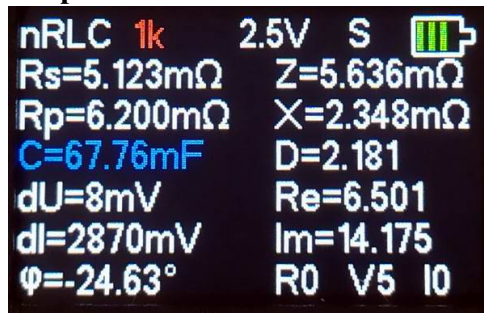
R_s должно быть максимально большим, его значение зависит от отношения величины амплитуды напряжения и тока с учетом КУ ПГА.

В опене амплитуда dU максимальна, dI минимальна,

Важен параметр Re , чем меньше, тем лучше- меньше помех, стабильней результат.

Большое значение может свидетельствовать об високих наводках на входную часть, високих пульсациях по цепям питания, наличии клиппинга.

Шорт



Чем ниже R_s до калибровки, тем качественней щупы

В шорте dI – ток максимальный, dU - напряжение на щупах минимально.

Re Im особо нет смысла сравнивать, поскольку они сильно зависят от сопротивления контакта, с плохим контактом получаются более высокие амплитуды на АЦП, стабильнее замер, лучше Re Im , но это эквивалентно измерению сопротивления 50 мОм вместо 5 мОм .

参考值

根据笔者的设备副参数，测试信号为 2.5V 1.kHz，设备未经校准。
如果您的数值相差很大，说明出了问题。

打开

Rs 应尽可能大，其值取决于电压和电流振幅之比，同时考虑到 PGA 的 CG。
开路时，振幅 dU 最大，dI 最小，Re 参数很重要，越小越好 - 干扰越小，结果越稳定。
如果数值过高，则可能表明输入部分洪水过大、电源电路纹波过高或存在削波。

短路

简而言之，dI 是最大电流，dU 是测针上的最小电压。
Re Im 的比较意义不大，因为它们在很大程度上取决于接触电阻，接触不良时，ADC 上的振幅更高，测量更稳定，Re Im 更好，但这相当于测量 50 mOhm 电阻，而不是 5 mOhm。

100R

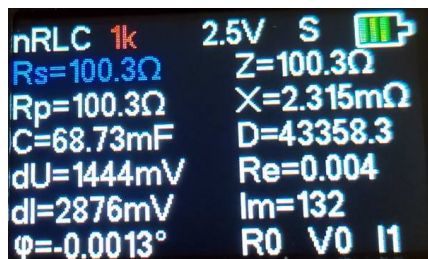
100 欧姆（0.1%）在没有校准的情况下，误差约为 0.3%。
好 "电阻器的拨角应接近于零。
Re = 0.004。由于有功电阻与无功电阻的比值过大，几乎达到 5 个数量级，因此没有必要进行比较。
无功电阻 - 几乎是 5 个数量级。

100K

100K 0.1%电阻，Rs 99，93K 是传统的 0.1%误差。
Phi 角仍趋于零。
Re 0，004%，Im 并不重要，在这种情况下不是代表性参数。

10nF

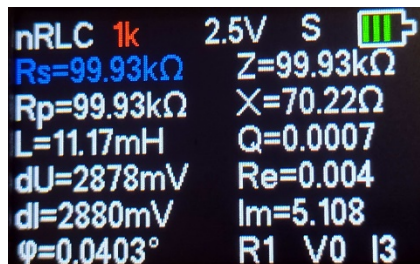
10nF 250V 0,5% k71-7V。用于比较的优质电容器。
电容值为 10.02 nF。
理想电容器的 phi 角为 -90°。电容器越好，就越接近
越接近该值。质量越差，角度越接近零。电容器的质量越好
电容器的质量越好，测量其第二和第三参数就越困难，校准就必须越精确。
校准。
参数 Phi、Rs、D 是相互关联的，如果不进行校准，测量的误差会很高。
误差很大。与主要参数 C 不同。
对于该电容器，介质损耗角的正切值规定不超过 0.001，我们有
D=0,0027Im= 0,004%。
通过比较电阻器的 Re 值和电抗器（电容器和扼流圈）的 Im 值，可以评估设备的质量以及各种改进的结果 -
测量一系列控制元件，记录 Re、Im 值，进行改进，比较相同元件的 Re、Im 值。



Без калибровки для 100 Ом (0,1%) погрешность получается около 0,3% без калибровки . Угол Фи для «хороших» резисторов должен быть близок к нулю.

Re = 0,004. Im нет смісла сравнивать из-за чрезмерно большого отношения активного и реактивного сопротивления – почти 5 порядков.

100K



100K 0,1% резистор, Rs 99, 93K условно 0,1% погрешности.

Угол Фи по-прежнему стремится к нулю.

Re 0, 004%, Im особо не имеет значения, не репрезентативний в данном случае параметр.

10нФ



10нф 250В 0,5% к71-7В. качественный конденсатор для сравнения.

Емкость 10,02 нФ.

Угол фи для идеального конденсатора равен -90 градусам. Чем лучше конденсатор, тем ближе к этому значению. Чем хуже, тем ближе угол к нулю. Чем лучше качество конденсатора, тем сложнее измерить его второй и 3-й параметры, тем точнее должна быть калибровка.

Параметры Фи, Rs, D взаимосвязаны между собой и без калибровки измеряются с высокой погрешностью. В отличии от основного параметра C.

Для данного конденсатора Тангенс угла диэлектрических потерь указан не более 0,001, у нас D=0,0027

$$Im = 0,004\%$$

Пользуясь сравнением Re для резисторов и Im для реактивностей- конденсаторов и дросселей можно оценивать качество работы прибора, а так же результат проведения различных доработок- измерили серию контрольных элементов, зафиксировали значения Re,Im, произвели доработку, сравнили Re,Im для тех же элементов.

Управление.

Управление прибором осуществляется 5-ю кнопками джойстика, при этом используются так же нажатие 2-х кнопок одновременно, а так же удержания.

Кнопка ОК:

- включает прибор, коротким или длинным нажатием,
- длительное нажатие выключает прибор,
- короткое нажатие во включенном состоянии вызывает основное Меню настроек. В настройках короткое нажатие работает как подтверждение выбора,
- Нажатие Вверх+ Ок с удержанием переводит прибор в режим программирования через DFU режим,
- Нажатие Вниз+ ОК перезагружает МК (Reset),

Кнопка Вверх:

- Нажатие Вверх+ Ок с удержанием переводит прибор в режим программирования через DFU режим,
- Во включенном состоянии повышает тестовую частоту на один шаг (на полной прошивке),
- В меню листает пункты вверх или добавляет +1 пункт в числовых значениях калибровки,
- При удержании Вверх в меню происходит быстрый выход минуя все дерево настроек в рабочий режим,
- При удержании Вверх в рабочем режиме включается- выключается Блютуз.

Кнопка Вниз:

- Нажатие Вниз+ ОК перезагружает МК (Reset),
- Во включенном состоянии понижает тестовую частоту на один шаг (на полной прошивке),
- В меню листает пункты вверх или убавляет -1 пункт в числовых значениях калибровки,
- При удержании Вниз в меню происходит быстрый выход минуя все дерево настроек в рабочий режим.

Кнопка Влево:

控制装置

设备由 5 个操纵杆按钮控制，也可同时按住 2 个按钮。

OK 按钮：

- 通过短按或长按打开设备， - 长按关闭设备、
- 在开启状态下短按可调用主设置菜单。在设置中，短按可确认选择、
- 长按上键+ 确定键可通过 DFU 模式将仪器切换到编程模式， - 长按下键+ 确定键可重置 MC（复位），
- 上键： - 长按上键+ 确定键可通过 DFU 模式将仪器切换到编程模式、
- 启用后，测试频率增加一级（在完整固件下）、
- 在菜单中，向上翻转项目或向数字校准值添加 +1 项目、
- 在菜单中按住 "上" 键可快速退出整个设置树，进入操作模式、
- 在操作模式下按住向上键可以打开或关闭蓝牙。下键： - 按下键+确定可重启微控制器（复位）、
- 启用后，可将测试频率降低一级（在完整固件下）、
- 在菜单中，上下翻转数字校准值中的 -1 个项目、
- 在菜单中按住 "下" 键可快速退出整个设置树，进入操作模式。左键： - 切换主模式- 工程模式。
- 长时间按住该按钮可切换被测元件的替换方案 Ser-Par（串联-并联）。
- 右键 - 切换主模式 - 振荡图模式， - 长按切换测试信号振幅 2.5- 0.25V p-p。

- переключает Основной режим- Инженерный режим
- длительное удержание переключает схему замещения измеряемого элемента Ser- Par (последовательную- параллельную).

Кнопка Вправо:

- переключает Основной режим- Режим осциллограмм,
- длительное удержание переключает амплитуду тестового сигнала 2,5- 0,25В р-р.

Калибровка прибора.

Необходима для более точного измерения на различных пределах. Возможна эксплуатация прибора без калибровки, с частичной или полной калибровкой.

Точность работы без калибровки зависит от точности установленных шунтов, а так же выбранной частоты, номинала детали, чем выше частота, тем больше влияют паразитные параметры схемы. Так же чем ближе номинал к низкоомному или высокоомному краю измерительного диапазона, тем выше необходимость калибровки.

В случае перепрошивки устройства через ST-Link желательна прошивка без полного стирания, в таком случае не затирается калибровка и не нужно проводить ее повторно, Однако бывают редкие случаи когда необходимо программировать с полным стиранием иначе программирование проходит некорректно.

Калибровка проводится на каждой частоте отдельно. Чем тщательнее проводится калибровка, тем точнее измерение. Точная калибровка необходима для разделения 2-х параметров измеряемого радиоэлемента с различными порядками сопротивлений. Например отделения очень маленькой индуктивности резистора 20 нГн от активного сопротивления 100 Ом. Либо измерение последовательного сопротивления конденсатора, либо же измерение тангенса диэлектрических потерь конденсатора.

Следует учитывать, что сам факт сведения щупов приводит к изменению емкости, даже резисторы в разных корпусах будут дать минимальную, но определяемую погрешность, особенно если это высокоомные значения при достаточно высокой частоте измерения.

Для калибровки желательно использовать СМД резисторы типоразмера от 0805- 1206, в идеальном случае прецизионные 0,1% (как правило реальная погрешность существенно ниже заявленной), в случае отсутствия можно применять с любым допуском при условии измерения реального значения (например 1002,1 Ом тогда выбираем пункт «Установить R» выбираем значение) сопротивления и внесения его в соответствующий пункт перед калибровкой.

Помимо основного параметра все элементы имеют дополнительные паразитные параметры, которые могут оказывать влияние,

Для калибровки Short лучше не сводить кончики вместе, а зажимать специально откушенную ножку, не склонную к значительному окислению какой-нибудь радиодетали. Практика показала, что такой метод точнее, чем калибровка при простом сведении.

仪器校准。

在不同极限下进行更精确的测量所必需的。可以在不校准、部分校准或完全校准的情况下操作仪器。

无需校准的操作精度取决于所安装分流器的精度以及所选频率、部件的标称值，频率越高，受寄生电路参数的影响越大。另外，标称值越接近测量范围的低阻抗或高阻抗边缘，校准的必要性就越大。在通过 ST-Link 重新刷新设备时，最好是在不完全擦除的情况下刷新，在这种情况下，校准不会被擦除，也就没有必要再次进行校准，但在极少数情况下，必须在完全擦除的情况下进行编程，否则会导致编程错误。对每个频率分别进行校准。校准越彻底，测量越精确。精确的校准对于分离被测无线电元件的两个具有不同阻值的参数是必要的。例如，从 100 欧姆的有源电阻中分离出 20 nGn 电阻的极小电感。或者测量电容器的串联电阻，或者测量电容器的介质损耗正切。需要注意的是，由于测针放在一起会导致电容发生变化，因此即使是不同外壳的电阻器也会产生微小但可检测到的误差，尤其是在测量频率足够高的情况下，如果它们的阻抗值很高的话。

校准时最好使用 0805-1206 尺寸的 CMD 电阻器，最好是精度为 0.1% 的电阻器（通常，实际误差要比标称误差小得多），如果没有，也可以使用任何公差，但必须测量实际值（例如 1002.1 欧姆，然后选择 "设置 R" 项，选择电阻值），并在校准前将其输入相应的项目。

除主参数外，所有项目都有可能产生影响的附加寄生参数、

校准短路时，最好不要将两端并在一起，而是夹住一条专门咬断的腿，这样不容易使某些无线电元件发生明显的氧化。实践证明，这种方法比简单地将尖端并拢校准更为精确

开路-短路校准是最实用的，因为它可以补偿量程边缘最关键区域的误差，在量程中间，除高频测量外，一切正常。在大多数情况下，这就足够了。

也可以进行部分校准，例如，如果需要测量 10-100 mOhm 的低电阻，可以校准量程的一部分，即短-1 欧姆。

全面校准开路 - 短路 - 负载。按照菜单中指定的顺序进行。在短路模式下，可以校正电感值--项目 "闭合设置 L"。该项对于相位和无功分量的完美校正非常必要。因此，在短路模式下，电压通道中的信号幅度较小，从而导致相位/无功校准误差。校准和重新连接探头后的读数是 1.2 mOhm 12 nGn，而不是 1.2 mOhm 和 0-1 nGn。也就是说，在校准过程中没有对电感进行补偿，通过在校准菜单中输入一些校正值（如 -10nGn），我们可以在电感为零时进行校准。该功能适用于电感值不超过 100nGn 的射频线圈测量，在其他情况下没有使用意义。校正值如下：示例

校准开路-短路 10kHz 后，保存，查看短路的校准结果

Rs= 0.7 mR L= 0.5nH

在校准菜单中选择 "Closed set L"（闭合设置 L）等项，按 "上-下" 键增加或减少校正值的上位数，例如原来是 0,000 nH，现在选择 5,000 nH，按 "OK" 键，选择区域将移至第二位数，这样就可以按位数选择多或少，设置任意值，最后一位数后按 "OK" 键退出校正设置菜单。修正电感值为 5 nH。

如果现在短接探头，就会发现校准电阻器的寄生电容 (Cr) 和电感 (CL) 的校正以同样的方式实现。

校准电阻的电感 (CL)。我们选择相应的项目 "设置 C" 和 "设置 L"、

需要注意的是，校正是在校准后进行的，即校准后可以重新进入校准，并通过多次重复选择所需的校正。建议对 1 欧姆电感校准电阻器或高电容电阻器进行校正，尤其是当频率增加时。在中间范围或足够低的频率下，寄生参数对误差的影响不大。

下面引用的 RLC-2 校准手册完美地说明了该仪器的校准方法。下面介绍的方法由于劳动强度过大，并不推荐所有人使用，只有 "抓跳蚤" 时才有必要使用，但熟悉这种方法有助于理解过程的本质：

Калибровка Open – Short наиболее практична, поскольку компенсирует неточность в самых критичных областях на краях диапазона, в середине диапазона, кроме случаев измерения на ВЧ, и так все ОК. В большинстве сценариев использования этого достаточно.

Может проводиться и частичная калибровка, например если нужно измерить низкоомные резисторы 10-100 мОм можно откалибровать часть диапазона Short- 1 Ом.

Полная калибровка Open – Short- Load. Выполняется по порядку указанному в меню. Для режима Short имеется возможность корректировки индуктивности- Пункт «Замкнутый set L». Этот пункт необходим для безупречной корректировки фазы и соответственно реактивной составляющей. Так в режиме шорт сигнал в канале напряжения имеет малую амплитуду из-за чего возникают ошибки калибровки фазы/ реактивной составляющей. Выглядит это примерно так –после калибровки и повторного замыкания щупов имеем показания 1,2 мОм 12 нГн вместо 1,2 мОм и 0-1 нГн. Т.е индуктивность при калибровке не компенсируется, внося в меню калибровки некоторое значение коррекции (например -10нГн) мы можем получить калибровку когда будет нулевая индуктивность. Функция применима для измерения ВЧ катушек индуктивности до 100нГн в прочих случаях особо нет смысла ею пользоваться.

Корректировка значений происходит следующим образом:

Пример:

После проведения калибровки Open- Short 10кГц, сохраняем, смотрим результат калибровки на Short

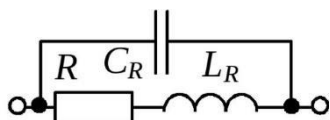
$R_s = 0,7 \text{ mR}$

$L = 0,5 \text{ nH}$

в меню калибровки выбираем например пункт «Замкнутый set L» кнопками «Вверх- Вниз » добавляем или убираем верхний разряд корректируемой величины, например было 0,000 nH, выбрали 5,000 nH, нажали «Ок», при этом поле выбора сместилось на второй разряд, таким образом выбирая больше- меньше можно установить поразрядно любое значение, после последнего разряда нажатие «Ок» выводит из меню настройки коррекции. Таким образом корректировочная индуктивность выбрана 5 nH

Если теперь закоротить щупы, то увидим

Подобным же образом реализованы корректировки паразитных емкости (C_r) и индуктивности (L_r) калибровочных резисторов. Выбираем соответствующие пункты «Установить C», «Установить L»,



Следует иметь ввиду, что коррекция работает и после самой калибровки, т.е можно произвести калибровку и затем повторно зайти в калибровку и несколькими итерациями подобрать нужную коррекцию. Либо произвести точную подгонку позже.

Корректировку целесообразно проводить для 1 Ом калибровочного резистора по индуктивности, или для высокоомных резисторов по емкости, особенно с ростом частоты. В середине диапазона или на достаточно низких частотах паразитные параметры не несут существенного вклада в погрешности.

Далее приведу цитату из руководства по калибровке RLC-2 прекрасно иллюстрирующей и калибровку данного прибора. Описанный далее метод не рекомендуется для всех из-за чрезмерной трудоемкости, нужен только «для ловли блох», но ознакомление с ним помогает понять суть процессов:

«Было выявлено экспериментально, что не точно введенная емкость резистора (Cstd) при LOAD калибровке сказывается на точность измерения тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов, измеренных на этом же диапазоне. И особенно на тангенс угла потерь высокочастотных конденсаторов. Так же R_s или R_p конденсатора может измеряться не правильно, сдвигаться в сторону увеличения или уменьшения, и даже получиться отрицательным ...

чем выше диапазон, тем большее влияние неправильно заданной емкости Cstd резистора на тангенс, R_s или R_p измеряемого конденсатора. Фактически, задавая емкость резистора при LOAD калибровке, мы задаем фазовый угол для диапазона. Если угол зададим не правильный для резистора, то и при измерении конденсатора этот угол будет не правильным. Небольшая не точность угла заметно не скажется на измерении R и тангенса низкочастотных конденсаторов, но зато скажется заметно на высокочастотных.

Авторы рекомендуют калибровать прибор по СМД резисторам с известной емкостью, порядка 0,08 пФ, задавая в меню Cstd резистора 0,08 пФ. Но дело в том, что выполнив OPEN калибровку с раздвинутыми щупами, а потом сдвинув щупы до расстояния между выводами СМД резистора, мы получим значительную прибавку емкости – до нескольких десятых пикофарад, а это означает, что введенная Cstd резистора 0,08 пФ будет далека от реальной, и LOAD калибровка диапазона выполнится не точно, то есть фазовый угол для диапазона будет выставлен не правильно, и это скажется не только на измерении емкости резисторов на этом диапазоне, но и на тангенсе и R_s , R_p конденсаторов. Чтобы максимально точно скорректировать фазовый угол, надо подбирать в меню Cstd резистора для LOAD калибровки, проверяя потом правильность калибровки по тангенсу высокочастотного конденсатора на этом же диапазоне.

LOAD калибровку со щупами типа "крокодил" я рекомендую делать по выводным резисторам. Из-за их большего расстояния между выводами, прибавка емкости от сближения щупов будет меньше. Хотя, можно калибровать и по СМД резисторам, но подобрать емкость резистора будет сложнее.

OPEN калибровку рекомендую делать с раздвижением щупов на какое-то максимальное расстояние... Это чтобы при повторной OPEN калибровке выдерживать то же расстояние, чтобы емкость между щупами не изменилась. Дело в том, что данные OPEN калибровки используются в формуле для коррекции результата измерения. И эти данные должны быть неизменными после выполнения OSL калибровки. Если же после правильно выполненной OSL калибровки повторить OPEN калибровку с другим расстоянием между щупами, то это скажется при измерениях и на тангенс угла потерь высокочастотных конденсаторов и на измеренную емкость резисторов на верхних диапазонах.

Теперь по самой методике OSL калибровки.

"实验发现，在负载校准过程中，如果没有准确引入电阻电容 (Cstd) (Cstd) 会影响同一量程下测量的电容器损耗因数的准确性。尤其是高压电容器的损耗因数。此外，电容器的 Rs 或 Rp 也可能被错误测量、上移或下移，甚至变成负值... 量程越高，错误设置的 Cstd 电阻电容对被测电容器的正切值、Rs 或 Rp 的影响就越大。事实上，通过在负载校准期间设置电阻电容，我们为量程设置了相位角。如果我们对电阻器的相位角设置错误，那么电容器测量时的相位角也会错误。角度的微小误差不会明显影响 R 和低压电容器正切的测量，但会明显影响高压电容器的测量。

作者建议使用已知电容（约 0.08 pF）的 CMD 电阻器校准设备，在菜单中设置电阻器的 Cstd 为 0.08 pF。但问题是，在延长探针的情况下执行 OPEN 校准，然后将探针移动到 CMD 电阻引脚之间的距离，我们将获得显著的电容增加 - 高达几十皮法，这意味着输入的 Cstd of the resistor 0.08 pF 将远远低于 0.08 pF、08 pF 的 Cstd 将与实际值相差甚远，量程的负载校准将无法准确执行，即量程的相位角将设置错误，这不仅会影响该量程上电阻器的电容测量，还会影响电容器的正切值和 Rs、Rp。为了尽可能准确地校正相角，有必要在菜单中选择负载校准电阻器的 Cstd，然后通过同一量程上高增益电容器的正切值检查校准的正确性。我建议使用鳄鱼探针而不是引线电阻进行负载校准。因为鳄鱼探头的引线间距较大，将探头靠得更近所产生的电容增益会更小。虽然您也可以使用 CMD 电阻器进行校准，但选择电阻器的电容会更加困难。

我建议在进行 OPEN 校准时，将探头分开一定的最大距离.....这是为了在重复 OPEN 校准时保持相同的距离，这样探头之间的电容就不会发生变化。问题的关键在于，公式中使用 OPEN 校准数据来修正测量结果。在 OSL 校准后，这些数据必须保持不变。如果在正确执行 OSL 校准后，使用不同的测针间距重复 OPEN 校准，则会影响高增益电容器的损耗角和高量程电阻器的测量电容。

现在谈谈 OSL 校准技术本身。

Перед калибровкой желательно исключить возможные источники помех,

OPEN калибровку выполняем с раздвижением щупов на сравнительно большое расстояние...

SHORT калибровка выполняется, как обычно. Зажимаем в щупы перемычку, максимально сдвигая щупы друг к другу. Перемычку надо использовать одну на случай повторной SHORT калибровки. Подойдет медный луженый провод диаметром 0,5-1 мм, можно использовать медный вывод резистора мощностью 0,5-1 Вт.

Кроме известного ряда прецизионных резисторов, надо еще заготовить ряд высокодобротных конденсаторов таких номиналов:

0,5 пФ (я соединял два последовательно по 1 пФ, тип КД);

10 пФ (два последовательно 22 пФ, или три последовательно 33 пФ, тип КМ или пленочные полипропиленовые);

100 пФ (КМ, или пленочный полипропиленовый, или полистирольный);

1000 пФ (пленочный полипропиленовый или полистирольный);

0,01 мкФ (пленочный полипропиленовый или полистирольный);

0,1 мкФ (пленочный полипропиленовый или полистирольный).

Номиналы конденсаторов выбраны такие, чтобы они попадали приблизительно в середину диапазонов. Конденсаторы желательно подобрать по минимальному R_s (то же самое, что по минимальному тангенсу), это можно сделать даже на не точно откалиброванном измерителе RLC-2. Особенно это касается керамических конденсаторов, потому что они имеют больший разброс по тангенсу, по сравнению с пленочными полипропиленовыми или полистирольными. Но подбор конденсаторов по минимальным R_s и D не даст нам истинных значений этих параметров, надо их (истинные значения) где-то взять. И лучше было бы измерить тангенс ряда конденсаторов на профессиональном измерителе и потом подстроить до такого же значение свой. У меня нет такой возможности, поэтому я купил конденсаторы WIMA FKP2, надеясь, что тангенс у них мало зависит от частоты и от номиналов, вот выписал из даташита:

для $C \leq 1000 \text{ pF}$, $\text{tg}\delta \leq 0,0003$ (на частотах 1 и 10 кГц);

для C больше 1000 pF, $\text{tg}\delta \leq 0,0004$ (на частотах 1 и 10 кГц).

После калибровки своего измерителя по описанной здесь методике я сравнил тангенс купленных 4,7 нФ и 10 нФ WIMA FKP2 (полипропиленовыми) с К71-7 (полистирольными), намерил такое:

WIMA FKP2: $\text{tg}\delta(1 \text{ кГц}) 0,0005...0,0006$;

К71-7: $\text{tg}\delta(1 \text{ кГц}) = 0,0003...0,0004$.

Удивительно, но советские К71-7 оказались лучше по тангенсу, не смотря на то, что в технических характеристиках норма тангенса выше, чем у WIMA FKP2:

К71-7 $\text{tg}\delta \leq 0,0010$.

校准前最好先排除可能的干扰源，

OPEN 校准的方法是将测针分开一段相对较大的距离。
距离...

短路校准照常进行。将跳线夹在测针上，尽可能使测针相互靠近。在反复进行 SHORT 校准时，必须使用一个跳线。可以使用直径为 0.5-1 毫米的镀锡铜线，也可以使用 0.5-1 瓦的铜电阻引线。

除了众所周知的各种精密电阻器外，您还应该购买一些额定值为 0.5 pF 的高压电容器：

0.5 pF（我串联了两个 1 pF 的 KD 型）；
10 pF（两个串联 22 pF，或三个串联 33 pF，KM 或聚丙烯薄膜型）；
100 pF（CM 或薄膜聚丙烯或聚苯乙烯）；
1000 pF（薄膜聚丙烯或聚苯乙烯）；
0.01 μ F（薄膜聚丙烯或聚苯乙烯）；
0.1 μ F（薄膜聚丙烯或聚苯乙烯）。

选择的电容器值大约落在范围的中间。建议根据最小 R_s （与最小正切相同）选择电容器；即使在未精确校准的 RLC-2 仪表上也可以这样做。对于陶瓷电容器尤其如此，因为它们与聚丙烯或聚苯乙烯薄膜相比，它们具有更大的切线扩展。但是根据最小 R_s 和 D 选择电容器不会给我们这些参数的真实值；我们需要将它们（真实值）带到某个地方。最好在专业仪表上测量一系列电容器的正切值，然后将自己的电容器调整到相同的值。我没有这样的机会，所以我买了 WIMA FKP2 电容器，希望它们的正切值对频率和额定值的影响很小，这是我从数据表中复制的：

对于 $C \leq 1000$ pF， $\text{tg}\delta \leq 0.0003$ （频率为 1 和 10 kHz）；
对于 C 大于 1000 pF， $\tan\delta \leq 0.0004$ （频率为 1 和 10 kHz）。

使用此处描述的方法校准仪表后，我将购买的 4.7 nF 和 10 nF WIMA FKP2（聚丙烯）与 K71-7（聚苯乙烯）的正切进行比较，并测量以下值：

WIMA FKP2： $\text{tg}\delta(1 \text{ kHz}) 0.0005 \dots 0.0006$ ；
K71-7： $\text{tg}\delta(1 \text{ kHz}) = 0.0003 \dots 0.0004$ 。

令人惊讶的是，苏联 K71-7 在切线方面表现更好，尽管在技术特性上切线率高于 WIMA FKP2：

K71-7 $\text{tg}\delta \leq 0.0010$ 。

Так же разница заметна и по другим номиналам (WIMA FKP2 хуже).

Сравнивал WIMA FKP2: 33 пФ, 47 пФ, 100 пФ, 220 пФ с керамическими зелеными КМ (33 пФ, 47 пФ, 100 пФ); с КВИ (47 пФ и 100 пФ); с 250 пФ (два последовательно соединенных полистирольных аксиальных импортных по 510 пФ).

Сравнивал WIMA FKP2: 1 нФ с К78-2 1600 В; с советским аксиальным полистирольным 1000 пФ, на нем красным надпись "1000"; с 1500 пФ коричневым из распайки телевизора, размеры 13,5x10x6 мм.

LOAD калибровку начинаем с седьмого диапазона. Сначала вводим в меню прибора приблизительную емкость эталонного резистора для 7-го диапазона. После прохождения LOAD калибровки по эталонному резистору зажимаем в щупы конденсатор 0,5 пФ и смотрим его R_s на частоте 10 кГц.

Почему на 10 кГц, да потому что на более высокой частоте одна и та же емкость резистора больше двигает фазу, чем на более низкой частоте. И откалибровав диапазон приблизительно (грубо) на частоте 10 кГц, получим более точную калибровку фазы на 1 кГц и 100 Гц.

R_s конденсатора 0,5 пФ на 10 кГц должен находиться не в минусе и не в преобладающем плюсе, а будет колебаться (плавать) относительно нуля то в плюс то в минус, лучше с небольшим преобладанием в плюс. R_s , а также тангенс угла диэлектрических потерь не стабильны из-за действующих наводок частотой 50 Гц. Эти наводки особенно сильно заметны на 7-м диапазоне.

Наиболее вероятно, что с первого раза Вы не угадали емкость резистора (C_{std}), и R_s конденсатора получился или в большом минусе или в большом плюсе. Тогда надо изменить значение емкости резистора в меню (C_{std}) для данного диапазона и повторить LOAD калибровку. Скажу, что для 7-го диапазона емкость резистора придется подбирать до сотых долей, или даже до тысячных долей пФ. И важно при каждой повторной LOAD калибровке зажимать щупы в одинаковых положениях на выводах резистора. После получения требуемого результата взять конденсатор 10 пФ и измерить его тангенс на частоте 1 кГц (на седьмом откалиброванном диапазоне). Калибровка фазового угла 7-го диапазона на частоте 1 кГц получилась более точной, чем на частоте 10 кГц, поэтому измеренный тангенс конденсатора 10 пФ на 1 кГц получится близким реальному на этой частоте.

Далее делаем LOAD калибровку 6-го диапазона по приблизительно введенной емкости резистора. После калибровки измеряем R_s и тангенс конденсатора 10 пФ на 10 кГц (6-й диапазон). R_s должен быть положительным, а тангенс в четвертом знаке после запятой, вблизи 0,0005. Если не получилось, то изменяем емкость C_{std} для 6-го диапазона и повторяем LOAD калибровку 6-го диапазона. По окончании калибровки 6-го диапазона, измерьте тангенс высокодобротного конденсатора 100 пФ на частоте 1 кГц (6 диапазон). Тангенс будет близок к реальному на этой частоте.

Аналогично выполняем LOAD калибровку 5-го диапазона, проверяя калибровку по R_s и по тангенсу конденсатора 100 пФ на 10 кГц, на 5-м диапазоне. И проверяем тангенс конденсатора 1000 пФ на 1 кГц, на том же 5-м диапазоне.

其他面额的差异也很明显（WIMA FKP2 更差）。

WIMA FKP2 : 33 pF、47 pF、100 pF、220 pF 与陶瓷绿 KM (33 pF、47 pF、100 pF) 进行比较；带 CVI (47 pF 和 100 pF) ； 250 pF (两个串联聚苯乙烯轴向进口，每个 510 pF) 。

将 WIMA FKP2 : 1 nF 与 K78-2 1600 V 进行比较；苏联轴向聚苯乙烯 1000 pF，上面用红色写着“1000”；来自电视接线的 1500 pF 棕色，尺寸 13.5x10x6 毫米。

我们从第七量程开始 LOAD 校准。首先，进入设备菜单，了解第 7 档参考电阻的近似电容值。使用参考电阻器通过负载校准后，我们将 0.5 pF 电容器钳入探头，并在 10 kHz 频率下观察其 Rs。

为什么是 10 kHz，因为在较高频率下，相同的电阻电容比在较低频率下移动相位更多。通过在大约（大约）10 kHz 处校准范围，我们在 1 kHz 和 100 Hz 处获得更准确的相位校准。

10 kHz 时 0.5 pF 电容器的 Rs 不应处于负值，也不应处于主要正值，但会相对于零波动（浮动），无论是正值还是负值，最好是稍微以正值为主。由于频率为 50 Hz 的电流干扰，Rs 以及介电损耗角正切值不稳定。这些干扰在第七频段尤其明显。

最有可能的是，您第一次没有猜出电阻器电容 (Cstd)，结果电容器的 Rs 要么是大减，要么是大加。然后，您需要在菜单中更改该范围的电阻电容值 (Cstd)，并重复负载校准。我想说的是，对于第 7 个范围，电阻器电容必须选择为百分之一 pF，甚至千分之一 pF。在每次重复的负载校准期间，将探头夹在电阻器端子上的相同位置非常重要。获得所需结果后，取一个 10 pF 电容器，在 1 kHz 频率（第七个校准量程）下测量其正切值。事实证明，在 1 kHz 频率下对第 7 个量程的相位角进行校准比在 10 kHz 频率下更准确，因此在 1 kHz 下测量的 10 pF 电容器的正切将接近实际值。频率。

接下来，我们使用近似输入的电阻电容对第 6 个范围进行 LOAD 校准。校准后，我们在 10 kHz（第 6 个量程）下测量 Rs 和 10 pF 电容器的正切。Rs 应为正数，且正切值应位于小数点后第四位，接近 0.0005。如果不起作用，则更改第 6 量程的 Cstd 电容，并重复第 6 量程的 LOAD 校准。在第 6 频段校准结束时，在 1 kHz（6 频段）频率下测量高质量 100 pF 电容器的正切。在此频率下，切线将接近真实值。

我们同样对第 5 个量程执行负载校准，检查第 5 个量程的 Rs 校准以及 10 kHz 下 100 pF 电容器的正切值。我们在相同的第 5 个量程上检查 1 kHz 下 1000 pF 电容器的正切。类似地，我们执行第 4 个量程的负载校准，检查 Rs 的校准以及 10 kHz 下 1000 pF 电容器的正切，在第四个范围。我们在相同的第四个范围内检查 1 kHz 时 0.01 μ F 电容器的正切。

事实证明，在不选择电阻器电抗性的情况下，范围 3、2、1、0 的负载校准相当准确。例如，我使用功率为 0.25 W 的线绕电阻器校准这些范围，输入 0 pF 的第三个范围以及 2、1、0 - 0.05 μ H 范围的电抗性。Lstd 的变化即使在十分之一 μ H 范围内，或 Cstd 的变化幅度为 pF 单位，也不会对这些范围内的校准（设置相位角）产生明显影响。

如果可以在具有四位或更多小数位的专业仪表上测量电容器的 tan，那么这是将测量结果与 RLC-2 进行比较的最佳选择。作为容量约为 0.5 pF 的高质量空气电容器，您可以使用 CRT 监视器显像管板上的放电器。我在这里提供照片：

Аналогично выполняем LOAD калибровку 4-го диапазона, проверяя калибровку по R_s и по тангенсу конденсатора 1000 пФ на 10 кГц, на 4-м диапазоне. И проверяем тангенс конденсатора 0,01 мкФ на 1 кГц, на том же 4-м диапазоне.

LOAD калибровка диапазонов 3, 2, 1, 0 получается достаточно точной без подбора реактивности резисторов. Я, например, калибрую эти диапазоны по проволочным резисторам мощностью 0,25 Вт, ввожу реактивность для 3-го диапазона 0 пФ, а для 2, 1, 0 диапазонов – 0,05 мкГн. Сдвиг L_{std} даже в пределах десятых долей мкГн, или C_{std} на единицы пФ, не оказывает заметного влияния на калибровку (на установку фазового угла) на этих диапазонах.

Если есть возможность измерить тангенс конденсаторов на профессиональном измерителе с четырьмя или больше знаками после запятой, то это лучший вариант, чтобы сравнить результаты измерения с RLC-2.

В качестве высокочастотного воздушного конденсатора, емкостью близко 0,5 пФ можно использовать разрядники с платы кинескопа ЭЛТ мониторов. Фото привожу здесь:



»

