**Киса, ну ещё капелюшечку!... Выжимаем из HP3457A последние соки.**

Disclaimer:

***Нижеследующий текст не является призывом к повтору изложенных действий, а всего лишь содержит описание шагов, предпринятых автором самостоятельно. Автор указанного текста не даёт никаких гарантий работоспособности или полезности модификаций для любого экземпляра прибора. Автор не несет никакой ответственности за реальный или предполагаемый ущерб, причинённый вашей собственности, данным или здоровью в результате прочтения нижеследующего текста. Читатель должен понимать, что любые свои действия он предпринимает на свой собственный страх и риск, полностью осознавая вероятность отрицательных последствий.***

1. Вступление

После публикации предыдущей работы, связанной с шестиразрядником от HP, появилось вполне объяснимое желание попытаться улучшить работу хронологически следующей модели компании, имеющей заводское обозначение **3457A.** Присмотримся к ней повнимательнее.

Тут фото:

3457\_Face\_2.

1. Описание

Этот мультиметр является первым в линейке флагманских моделей данной фирмы, имеющим возможность прямого измерения силы постоянного и переменного тока, а также частоты и периода переменного тока. Предыдущие модели, такие как 3455A и 3456A, таких возможностей не имели.

Тут фото:

3457\_Top\_1.jpg,

3457\_Bottom\_1.jpg,

Также в нём реализована концепция электронной «безотвёрточной» калибровки, когда все поправочные коэффициенты автоматически рассчитываются встроенным микропроцессором при подключении правильного эталона и подаче соответствующей команды. Т.о. в подавляющем большинстве случаев не потребуется вскрытие корпуса при проведении калибровки (о некоторых исключениях будет сказано ниже). Калибровочные коэффициенты сохраняются в микросхеме статического ОЗУ, для сохранности данных запитанной от литиевой батарейки.

Тут фото:

3457\_Battery\_1.jpg

Специальным схемным решением область калибровочных данных защищена от несанкционированного или случайного (при включении/отключении прибора) доступа на запись. Сама команда калибровки защищена кодовым словом, которое может быть изменено при выполнении особой процедуры. Для крайне запущенных случаев (покупка наeBay, сезонный приступ склероза у текущего владельца и т.п.) имеется возможность отключить или принудительно переназначить кодовое слово, но придётся вскрывать прибор (читай – срывать пломбы) и вручную переставлять джампер.

Более развитое встроенное программное обеспечение кардинально повышает гибкость встраивания прибора в автоматизированные измерительные системы. Имеется возможность сохранения и вызова нескольких вариантов уставок режима работы даже после отключения питания. Помимо вызова любой функции или режима через меню или удаленно по GPIB, обеспечен прямой доступ к наиболее часто используемым функциям специальными кнопочками. Клавиатура – как у белого концертного «Steinway & Sons», **сорок четыре** клавиши без учёта сетевой кнопки! Для сравнения (без учёта кнопок сетевых, переключения передних/задних терминалов и выбора экранировки/заземления):

у 3456A - 37 кнопок,

у 3455A - 28 кнопок,

у 3458A - 36 кнопок.

Рекордсмен среди мультиметров HP!

Тут фото:

3457\_Face\_1.jpg

Впервые появилась магическая кнопка «**AutoCal**», которая корректирует **только**:

- диапазон 3 ГОм (сдвиг и усиление);

- горизонтальность АЧХ входного делителя по переменному току (AC);

- сдвиг входного усилителя по постоянному току (DC).

Ну хоть что-то.

Как особое достижение фирма HP позиционировала возможность получения дополнительного 7-го разряда через считывание специального регистра. Ещё раз отмечу, что, на мой взгляд, с этим фирма припозднилась. 7-й разряд куда как своевременнее был бы в предыдущей модели, 3456A, которая даже по официальным спекам, без всяких доработок, бывает точнее и стабильнее. Не верите? Сравните расчёт в Экселе допусков при измерении ряда напряжений. Брались данные для 24-х часов и 90 дней. 0,1 и 1 В могут быть измерены 3456-ым и на младших диапазонах, поэтому появились дополнительные строки. Красным выделены места, где 3457-й опростоволосился.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **U, V** | **3456, 24 h specs, +- V** | **3457, 24 h specs, +- V** | **3456, 90 day specs, +- V** | **3457, 90 day specs, +- V** |
| **0,1** | **0,0000026** | **0,0000029** | **0,0000058** | **0,0000064** |
| **0,1** | **0,0000049** | **0,0000029** | **0,0000064** | **0,0000064** |
| **0,3** | **0,0000067** | **0,0000061** | **0,0000112** | **0,0000114** |
| **0,5** | **0,0000085** | **0,0000068** | **0,0000160** | **0,0000145** |
| **1** | **0,000013** | **0,0000085** | **0,000028** | **0,000023** |
| **1** | **0,000028** | **0,0000085** | **0,000043** | **0,000023** |
| **2** | **0,000036** | **0,000012** | **0,000066** | **0,000040** |
| **3** | **0,000044** | **0,0000155** | **0,000089** | **0,000057** |
| **5** | **0,00006** | **0,0001225** | **0,000135** | **0,000365** |
| **10** | **0,0001** | **0,000155** | **0,000250** | **0,000540** |

Таблица 1.

Это было касаемо DC, где ещё имеет смысл вести разговор о 7-м разряде. На переменке 3457-й вообще в одни ворота проигрывает 3456-му. Самое обидное, что в 3456-м с АЦП считываются СЕМЬ разрядов, но… младший из них позднее округляется и во внешний мир, увы, не выдаётся.

Прибор имеет возможность установки вместо задних клеммников двух вариантов платы многоканального мультиплексора – менее скоростного, но более высоковольтного и сильноточного 44491A или более шустрого, но низковольтного 44492A.

Важная особенность, отсутствующая как в предыдущих моделях, так и в последующем 8-разрядном монстре 3458A – возможность дистанционного, по GPIB, выбора между передними и задними входными терминалами. Оборотная сторона медали – отсутствие возможности вручную, одним нажатием кнопки осуществить такое переключение.

Ещё одно приятное отличие от тех же моделей – меньшие габариты и вес. Последнее достигнуто в том числе и пластмассовыми внешними панелями, что не преминуло отразиться на помехозащищённости. Не зря в последующем, даже в не претендующем на флагманство HP 34401A фирма решила вернуться к металлическому кожуху.

Тут фото:

3457\_All\_1.jpg,

3457\_All\_2.jpg,

3457\_All\_3.jpg,

В целом построение мультиметра схоже с 3456 и имеет т.н. «заземлённую» и «изолированную» части.

Тут фото:

3457\_Blocks.tif

Блок-схема

В «изолированную» часть входят:

- входные клеммники с коммутацией и токовыми шунтами,

Тут фото:

3457\_InpSW\_2.jpg,

3457\_Shunts\_2.jpg,

3457\_Shunts\_1.jpg,

3457\_Shunts\_3.jpg

- делитель на 100 для DC (входит в состав гибридки U101),

-входной усилитель DC с усилением 3,33 , 33,3 или 333,

Тут фото:

3457\_U111\_3.jpg

- преобразователь AC в DC со своим входным аттенюатором и усилителем,

Тут фото:

3457\_AC\_1.jpg,

3457\_AC\_2.jpg

- ИОН для АЦП и источники тока для измерения сопротивления,

Тут фото:

3457\_LM399\_2.jpg,

3457\_LM399\_1.jpg

- собственно АЦП с управляющей логикой,

Тут фото:

3457\_LT1122\_0.jpg

- стабилизаторы питания и интерфейс (оптроны) для обмена данными с «заземленной» частью.

Тут фото:

3457\_PS\_1.jpg

3457\_Optrons.jpg

«Заземлённая» часть содержит:

- другой бок тех же оптронов,

- главный микроконтроллер,

- GPIB блок,

- переднюю панель с индикацией и клавиатурой,

- блок питания.

Тут фото:

3457\_Guarded\_1.jpg

1. Как оно работает

АЦП построено на тех же принципах, что и в 3456A, но значительная часть критических компонентов (ключи, компаратор, токозадающие резисторы, логика и тактовый делитель) собраны в фирменную гибридку U511:

Тут фото:

3457\_U511.tif

Опорное напряжение АЦП составляет 10 В, источник построен на базе точно того же блока опорного напряжения, что и в 3456. Даже его фирменное обозначение не изменилось. Схема этого блока в документации не приводится, интересующимся придётся заглянуть в сервис-мануал на 3456A.

Тут фото:

3457\_REFboard.tif

*Постойте, как это? Шкала АЦП 10-вольтовая, а шкалы измерительные кратны 3-м? Ошибочка вышла?*

Нет. Так и было задумано. Для приведения в соответствие этих шкал входной усилитель усиливает сигнал всегда. На диапазонах **30 мВ**, **300 мВ**, **3 В** коэффициент усиления (далее - Ку) составляет **333** , **33,3** , **3,33** соответственно. Далее заковыристо. На диапазонах **30 В** и **300 В** добавляется делитель на 100, после которого приходится усиливать сигнал в **33,3** и **3,33** раза соответственно. Именно в этом может крыться причина повышенной шумности измерений в сравнении с 3456-й моделью.

Многие важные компоненты входного коммутатора, делителя 1/100, входного усилителя и источника тока заключены в другую гибридку U101:

Тут фото:

3457\_U101.tif

Собственно усилитель собран по комбинированной схеме на двух согласованных монолитных парах полевиков Q111, Q112 и сдвоенном ОУ U111 (TL072).

Тут фото:

3457\_InAmp\_1.tif

Поскольку основной целью доработки будет снижение шума на DCV, а основных источников шума два – входной усилитель (ВУ) и собственно АЦП, то придётся рассмотреть работу этих узлов подробнее.

Итак, копнём ВУ чуть глубже. U112+Q114 задают и стабилизируют ток через полевики. U112b инвертирует опорные 10 В в минус 12 В, причём «нижние» 2 В падают на R115 (на его верхнем выводе минус 10 В, на нижнем - минус 12 В). Эти 2 В поданы на преобразователь «напряжение-ток» U112a+Q114 с токозадающим резистором R114. 2В на 5,11 кОм обеспечивают ток около 400 мкА , или примерно по 200 мкА на плечо. R113 служит для симметрирования плеч при закороченном входе, иными словами для устранения напряжения сдвига.

Тут фото:

3457\_R113\_2.jpg

В аппарате для этих целей служит специальная процедура, но её обсудим позднее.

R111 и R112 являются нагрузкой и задают усиление каскада на полевиках, а токовое зеркало U111a+Q113 поддерживает равенство постоянного тока по плечам, тем самым повышая общий Ку каскада. Собственно усилительным элементом является Q111, тогда как Q112 обеспечивает неизменную разность потенциалов между стоками и истоками Q111. Диоды CR113 и CR114 создают падение напряжения, необходимое для работы токового зеркала. CR111 и CR112 защищают от перегрузки входы ОУ U111b, который обеспечивает основное усиление ВУ. Надо отметить, что этот ОУ обязан устойчиво работать как при высоких, так и при **низких** Ку. Как будет показано далее, самым опасным в плане самовозбуждения ВУ является диапазон 3 В.

Понятно, что с содержимым гибридки в плане снижения шума поделать нельзя ничего, кроме повышения «качества» питающих напряжений. А каковы другие источники шума? Таковыми, по нашему субъективному мнению являются:

1. Собственно пара Q111 и её режим (как правило, чем выше ток, тем ниже шумы).
2. U111.
3. U112
4. Зашумленность опорных 10 В (даже при закороченном входе, когда качество опорного напряжения АЦП не имеет особого значения) именно в силу того, что это напряжение использовано во ВУ.
5. В гораздо меньшей степени - Q112, Q113,Q114, CR113 и CR114.

Далее в соответствующем разделе попытаемся побороться с первыми четырьмя пунктами.

Теперь обратимся к АЦП:

Тут фото:

3457\_ADC.tif

Видим комбинированный интегратор Q514+U512 с интегрирующим конденсатором C511 и предусилитель компаратора U513+R513+R515. Всё… Остальное или спрятано в гибридке U511, или играет второстепенную роль (компаратор перегрузки интегратора U515a, коммутирующие ключи) и на шум особо не влияет. Предположительно, наибольший вклад в шумовую составляющую обеспечивают:

1. C511
2. Q514
3. U512
4. U513

Далее попытаемся побороть последние 2 пункта.

1. Выполнение задуманного

Следует упомянуть, что попытки каких-то улучшений данного аппарата предпринимались неоднократно в течение долгого времени, более года. Самым длительным оказался сбор необходимых комплектующих, как в виду нетривиальности предъявляемых к ним требований, так и в виду недобросовестности (это я **очень** мягко выражаюсь) некоторых (на самом деле – более половины из тех, с кем имел дело) поставщиков с али. Другой пожиратель времени – комплексный характер проблемы, требующий после внесения каждого изменения минимум часового прогрева, затем несколько часов сбор (минимум по часу на каждом из трёх низших поддиапазонов) и обработка накопленных данных. Плюс время на разборку и сборку. Часто предпринимались несколько изменений за раз. После чего выяснялось, что результат отрицательный, и приходилось **по частям** откатывать назад для определения, что именно пошло не так. Поэтому ниже перечислю все (какие вспомню☺) выполненные доработки с кратким указанием успешности и результативности (что не одно и то же). Надеюсь, кому-то поможет сберечь время…

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Что сделано** | **Получилось?** | **Снизило шум?** | **Дополнительно** |
| Подсветка дисплея | Да | Не влияет | **Оставил** |
| Внутренний термодатчик | Да | Не влияет | **Оставил** |
| Дополнительное ферритовое кольцо на провода от трансформатора к изолированной секции | Да | Скорее всего, да | **Оставил** |
| Утепление LM399 | Да | Да | **Оставил** |
| Замена разъёмов паянными стойками для платы опорника | Да | Скорее всего, да | **Оставил** |
| Увеличение конденсатора C901 до 2200 мкФ | Да | Улучшений не выявлено | Откатил |
| Увеличение конденсаторов C911 и C921 до 470 мкФ | Да | Улучшений не выявлено | **Оставил** |
| Дополнительный керамический конденсатор 4,7 мкФ прямо на ножки 3 и 5 U511 | Да | Стало хуже | Откатил |
| То же, 0,1 мкФ | Да | Всё равно хуже | Откатил |
| Замена калибровочной RAM на энергонезависимую RAMTRON FM16W08-SG | **Нет** | --- | А жаль… |
| Замена U512 и U513 на LT1122 | Да | Да | **Оставил** |
| Попытка избавиться от Q514 | Да | Стало хуже | Откатил |
| Попытка увеличить Ку предусилителя на U513 | Да | Стало хуже | Откатил |
| Замена U111 на ADA4077 | Да | Да | **Оставил** |
| Замена U112 на AD706 | Да | Да | **Оставил** |
| Замена Q111 на пару 2SK30A | Да | Да | **Оставил** |
| Увеличение тока через Q111 | Да | Частично. Но на 3В - увеличило | Откатил |
| Замена U501 на AD707 | Да | Да | **Оставил** |

Термодатчик и кольцо:

Тут фото:

3457\_Tsens\_1.jpg,

3457\_Tsens\_2.jpg

Пройдёмся по оставленным в силе модификациям, имеющим отношение к уменьшению шума.

Утепление LM399 подробно описано в работах по 3456.

Надевание ферритового кольца и удаление разъёмов являются операциями рутинными и дополнительных пояснений не требуют.

Поскольку все микросхемы в 3457 в корпусах DIP, заменяемые чипы **аккуратно** выпаивались и на их места впаивались **цанговые** панельки, после чего появлялся простор для творчества ☺ . LT1122 имеют вариант в DIP8 и встают вместо LT318 (U512 и U513) без проблем.

Тут фото:

3457\_LT1122\_00.jpg,

3457\_LT1122\_1.jpg

На втором фото видны отпаянные резисторы, отсутствует Q514 и R513=1 кОм вместо 5,11 кОм. Всё это пришлось впоследствии вернуть к исходному виду.

Тут фото:

3457\_LT1122\_2.jpg

С U111 сложнее, т.к. в наличии оказался только одноканальный вариант ADA4077-1, а TL072 – двухканальная. Пришлось городить промежуточную плату – переходник с контактами под DIP8:

Тут фото:

3457\_U111.jpg,

3457\_U111\_pcb.jpg

Для использования AD706 в качестве U112 и AD707 в качестве U501(OP-07, позднее отобранный LT1001) использованы промышленные платы-адаптеры [M]SO8/DIP8.

При попытке увеличения тока полевиков проявилось низкое качество R114, в худших традициях советских МЛТ ширпотребовских серий.

Тут фото:

3457\_R114\_1.jpg

Нельзя исключить вероятности, что ненадёжный контакт в этом резисторе мог иметь свой вклад в шумовую дорожку ВУ. Для замены были использованы параллельно включённые два резистора С5-61 10,4 кОм с наиболее близкими, но противоположными по знаку, характеристиками ТКС:

Тут фото:

3457\_R114\_2.jpg,

3457\_R114\_3.jpg

После замены Q111 (с большей крутизной, чем у оригинала) и U111(с большим усилением, чем у оригинала), ВУ стал самовозбуждаться примерно на 150 кГц. Для подавления были подготовлены слюдяные конденсаторы:

Тут фото:

3457\_C111\_1.jpg

В дело пошёл средний экземпляр. Тут очень важно осциллом проверить отсутствие подвозбуда при подаче реального напряжения на вход во всём диапазоне 3 В. При недостаточной компенсации ВУ может молчать при КЗ или напряжении на входе ниже 0,1 В и возбуждаться в такт с циклами AutoZero при большем напряжении.

Больше всего возни потребовали полевики для Q111.

Было закуплено несколько 2SK30A, с каждого была снята ВАХ. Использовались (см. схему ниже): функциональный генератор (U3), вольтметр (U4) с GPIB, два мультиметра в режиме амперметра (U1 и U2) с USB – интерфейсами, комп и специально изготовленное приспособление. Наверняка в сети подобных устройств – океан, но у меня из того, что было, получилось вот это, без затей и претензий. Главное - работает:

Тут фото:

3457\_VAHmeter.png

Пояснения кратко:

VT1+DA2 – ограничитель тока на 12 мА, VT2+DA4 – стабилизатор напряжения 10 В, DA3 – формирователь искусственной средней точки на уровне +5 В от минуса питания. Это нужно, чтобы в отсутствие функционального генератора можно было многооборотником RP1 задавать на затворы как положительное, так и отрицательное напряжение. При автоматической работе ползунок RP1 выставлен в среднее положение. R6 и R14 c соответствующими диодами защищают затворы от чрезмерного прямого тока. Диоды в цепях стоков создают виртуальные разрывы для измерения тока амперметрами. Посадочные места под полевики выполнены в виде 6-контактной цанговой панельки. Под выпаянный из 3457-го сдвоенный полевик пришлось делать переходник из-за иной цоколёвки. За один проход генератора получается снять ВАХ сразу с двух 2SK30A.

Получилась вот такая радуга:

Тут фото:

3457\_all2SK30.png

Оригинальная пара от HP показала себя близкой к идеалу:

Тут фото:

3457\_oldQ111.png

Ну и мы не лыком шиты:

Тут фото:

3457\_newQ111.png

Один добрый человек (дай Бог ему здоровья!) подарил тонкую медную ленту, из которой поверх склеенных плоскими сторонами полевиков, опять же, на клею, был накручен в несколько слоёв бандаж. Тут главное не выйти за габарит по высоте – не более 12 мм от поверхности платы, т.к. над этим участком находится блок AC.

Тут фото:

3457\_InpAmp\_1.jpg,

3457\_InpAmp\_2.jpg,

3457\_InpAmp\_3.jpg,

3457\_InpAmp\_4.jpg,

3457\_InpAmp\_5.jpg

1. Как было и как стало?

Для проверки результата снимались 7- разрядные показания с закороченным и укутанным полиэтиленом входом. Одна точка в 2 секунды. На полученном графике выбирался наиболее «оптимистический» участок длительностью 10 минут (600 отсчётов, т.к. каждая точка рассчитывается суммированием 2 отсчётов: первого – 6,5-разрядного, второго - отдельного довеска 7-го разряда), по которому рассчитывалось среднеквадратичное отклонение в ппм-ах. Для замера шума АЦП (строка **ADC only**) была выпаяна перемычка JM101 и закорочены контрольные точки TP5 и TP2. Результаты сведены в таблицу.

Надо отметить, что на низковольтных диапазонах, при высоком входном сопротивлении, прибор охотно ловит всю мерзость из окружающей электромагнитной обстановки, реагируя как на сеть (возможно, из-за подключенного по GPIB компа), так и на беспроводные воздействия. Помимо этого он реагирует на изменения температуры и … давления. Ну, что есть…

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **3457A scale:** | **Было, ppm RMS** | **Стало, ppm RMS** |
| **0,03V** | 5,0525 | 2,9879 |
| **0,3V** | 0,4851 | 0,2969 |
| **3V** | 0,1137 | 0,0783 |
| **30V** | 0,3625 | 0,3206 |
| **300V** | 0,0896 | 0,0824 |
| **ADC only** | 0,0735 | 0,0648 |
| **ADC only + cap (4,7u)** | 1,6 |  |
| **ADC only + cap(0,1u)** | 0,9 |  |

Как видим, выигрыш особенно заметен на младших диапазонах (около 40%) , хотя и не так впечатляющ, как с 3456.

Тут фото:

3457\_ADC\_only\_before.png,

3457\_ADC\_only.png,

3457\_0,03V\_before.png,

3457\_0,03V.png,

3457\_0,3V\_before.png,

3457\_0,3V.png,

3457\_3V\_before.png,

3457\_3V.png,

3457\_30V\_before.png,

3457\_30V.png,

3457\_300V\_before.png,

3457\_300V.png

1. Несколько практических замечаний

После замены Q111 потребовалась процедура балансировки ВУ. Ну как потребовалась… Тут тонкость есть. В сервис-мануале написано, что выполнять её надо **только и исключительно**, если в эту сторону селфтест ругнётся. Кстати, из-за этого пассажа данную регулировку скорее всего не выполняют и при регулярной калибровке в метрологических лабораториях. А у меня не ругалось, потому что в меру сил отбалансировал ещё на этапе отладки. Но, запустив диагностическую процедуру 4, таки выяснил, что смещение не в норме. Оказалось, что у селфтеста порог срабатывания **±1,5 мкВ**, а у этой процедуры втрое меньше, **±0,5 мкВ**.

Сама процедура **ничего не регулирует**, только закорачивает вход ВУ и часто-часто проверяет, находится ли его выходное напряжение:

В допуске?

Выше?

Ниже?

и обеспечивает соответствующую индикацию. Именно от человека требуется покрутить подстроечник R113. А раз так, кто может запретить запуск этой процедуры в профилактических, так сказать, целях?

Поэтому для себя установил такой порядок, если интересно. Сначала проверяю, нужна ли вообще эта регулировка (зачем ждать утроенного дрейфа?). Нажимаю синюю кнопку, потом «D\_AUTOZERO» (на дисплее DELAY), потом стрелку вниз (на дисплее DIAGNOSTIC). Теперь жму «4» и «ENT». Если отображается «PASSED» - выхожу из режима длительным нажатием стрелки вправо (она же «RESET») и не заморачиваюсь. А вот если пишет «FAILED LO» или «FAILED HI» - придётся потрудиться.

Отключаю от прибора **ВСЁ**, включая сетевой, входной и GPIB кабели. Переворачиваю прибор кверху дном, отворачиваю 6 крепёжных винтов (если долженствующие быть на них резиновые колечки на месте, вынимать винты не надо). Переворачиваю обратно лицевой к себе, снимаю верхнюю пластмассовую крышку, под ней справа находится верхний экран – держатель платы мультиплексора.

Тут фото:

3457\_All\_1.jpg

Кстати, у кого эта плата есть, наверное, её тоже надо удалить. Мануал требует удалить даже заднюю клеммную панель. У меня она полусамодельная и не мешает.

Продолжаю. Отсоединяю один из соединителей заземляющего провода, соединяющего верхний экран с нижним.

Тут фото:

3457\_GNDwire\_1.jpg,

3457\_GNDwire\_2.jpg

Аккуратно приподнимаю заднюю часть экрана, отсоединяю разъём от заднего клеммника и поворачиваю экран к себе. Открылся доступ к отверстиям в следующем экране, через одно из которых, помеченное «**Vos Adj A2-R113**», нужно АККУРАТНО вставить изолированную тонкую плоскую отвертку.

Тут фото:

3457\_R113.jpg

Теперь подключаю сетевой кабель, включаю прибор и жду минимум полчаса (лучше - час), пока прибор прогреется. В мануале об этом ни слова, *включите-отрегулируйте-выключите*, но лично я считаю прогрев необходимым. После прогрева вращением подстроечника выставляю на дисплее «PASSED» и выхожу из режима, как уже было написано. Далее опять отсоединение **ВСЕГО**, сборка в обратном порядке и включение. После суток работы, на всякий случай, убеждаюсь, что по-прежнему «PASSED».

Вторая подобная регулировка должна выполняться с использованием диагностической процедуры 2 – коррекция АЧХ делителя в канале AC, но у меня она сразу показала «PASSED», поэтому ничего крутить не стал. Первая заповедь – не ремонтируй то, что нормально работает!

Если уж придётся вскрывать прибор, не будет лишним проверить плотность посадки соединителей проводов от передних и задних клеммников на контактные штыри основной платы. Соединение не должно размыкаться, если потянуть за провод с силой, достаточной для приподнимания одного края прибора. Слабо сидящие контакты надо снять и АККУРАТНО поджать. Без фанатизма! От надёжности этих контактов зависит качество измерений сопротивлений на двух самых младших диапазонах, и я уже сталкивался с проблемами в этой области (в другой модели). Причём после восстановления контакта прибор стал намерять ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ сопротивление при закороченном входе, что говорит о том, что как минимум последнюю калибровку прибор прошёл в неисправном состоянии. А калибровка у того прибора ой какая дорогая…

Тут фото:

3457\_InpSW\_1.jpg

На сладкое ещё несколько полезных и бесполезных картинок:

Тут фото:

8-77.tif,

8-79.tif,

3457\_Ramtron.jpg или 3457\_Ramtron2.jpg,

3457\_ShieldUnlock.jpg

1. Литература и ссылки