

Ничего кроме изумления не может вызвать желание российских представителей компании Tektronix бороться со всеми производителями цифровых осциллографов в мире. Мы уже прошли стадию бестолковой полемики, о том кто лучше разбирается в производстве бюджетных осциллографов Tektronix или GOOD WILL INSTEK. Сейчас на сайте Мастер-Тул начинается полемика «Tektronix vs LeCroy», далее, похоже они еще не однократно будут «радовать» публику «Tektronix против....», но время покажет, кто будет каждый раз с другой стороны барьера...

Если в пылу битвы у «защитников» Tektronix было бы больше осмотрительности, они бы обратили внимание, что эта информация действительно была опубликована полтора года назад (кстати независимым от Tektronix и LeCroy изданием), да и в русскоязычном варианте она появилась впервые не на сайте ПРИСТ (а была опубликована в русском варианте на сайте ЗАО «ЭЛЬВИРА») и не вчера. От чего же возникло запоздалое желание реабилитации Tektronix спустя почти полтора года? Если эта тема, по Вашим выводам, не стоит ничего за давностью лет, то к чему все старания? И кстати сделал ли это собственно сам Tektronix? Или он не читает журналов? Если за два года появилась какая-то реакция Tektronix и если есть двухлетний перевод комментариев Tektronix, может было бы логичнее опубликовать их? Или вспомнил через полтора года о забытом споре с LeCroy и поручил отыскать «несуразности» в материалах?

Да и вообще, кому сейчас интересны пост-заклучения? Не будем подтверждать, опровергать и комментировать высказывание «Обещание, данное специалистам Tektronix, предоставить время на изучение WM8600A выполнено не было, что и послужило причиной отказа от участия в испытаниях. Таким образом, тестирование проводилось специалистами LeCroy и техническим редактором EDN» (хотя официальная версия отказа несколько отличается от изложенной А.Б.) У Tektronix не нашлось денег купить его? Ведь этот эксперимент был делом престижа для Tektronix! Тогда бы авторам ответной публикации, не пришлось бы строить домыслы, в каком положении находились органы управления у того или иного осциллографа. Но в этих рассуждениях меня порадовало одно – наконец дошло, что режимы работы осциллографа вещь не бесполезная, а то когда некоторое время назад я пытался добиться того же самого во время «сравнения» GOOD WILL INSTEK и Tektronix, оппоненты предпочли отмолчаться.

Давайте не будем дискутировать, что и как написано в журнале EDN, тем более, что ни представителей Мастер-Тул, ни меня на этом мероприятии не было и комментировать все это глупо и бестолково, а насколько я понимаю WM8600A в своей жизни автор «ответа Чемберлену» видел всего несколько часов и в чем там можно было разобраться, я откровенно плохо понимаю! Приборы такого рода достаточно сложны (впрочем как и у LeCroy, так и у Tektronix), имеют множество различных режимов работы измерения и обработки сигналов. Очень похоже, что все рассуждения в публикации основаны или на собственных домыслах, или на информации любезно предоставленной компанией Tektronix на своем сайте, но и эту информацию в России похоже не возможно ни проверить ни опровергнуть, потому что у Мастер-Тул нет необходимых технических средств! Вот и приходится тыкать пальцем в небо...

Вернемся к комментированию публикации. Что же мы обнаруживаем? Честно говоря не понятно, а комментировать-то что?! Если бы автор удосужился хотя бы мельком взглянуть на оригинал статьи (ссылка на журнал END, кстати, указанна в том же месте, где и размещен перевод), сейчас бы не возникал вопрос, а почему Tektronix молчал два года, зная о явных подтасовках фактов! Почему взглянуть? Там картинки осциллограмм по разрешению лучше!!! А если еще пройти дополнительный курс «молодого бойца» по изучению процесса нажимания

кнопок управления на осциллографах LeCroy и отображению установленных режимов на дисплее, то все высказывания из разряда: «...для анализа будет использоваться только фактический материал, полученный в результате испытаний....», «....а автор бодро утверждает, что всего 25 пс...», «При внимательном изучении иллюстраций помещенных...», «Сравнивать НЕЧЕГО!», «Я даже не буду касаться ошибки в измерениях, обнаруженных в ходе испытаний, надеюсь, ее устранили и последующих рассуждений....», «TDS6604 работает в реальном времени, а WM8600A в эквивалентном. Комментарии нужны?...» и т.д. становятся бестолковыми по своей сути. А режим измерения, вызвавший столько непонимания, кстати, был предложен самим Tektronix... Нужны ли тут еще комментарии? Уважаемый автор, прочитайте статью в EDN еще раз все с самого начала (только не по принципу «смотрю в книгу, а вижу ф...»), вдумайтесь, поймите о чем идет речь, а потом уж кидайтесь на «анализы». Вы сами-то хоть верите в Ваши «анализы»? Нет? Ну а зачем пытаетесь заставить поверить других?! На десять картинок для анализа хватило времени, а куда же делись остальные? «...потому что читать этого все равно никто не будет...».

Этой полемикой Вы не сделали ничего нового и полезного для Tektronix, в дополнение к тому, что он сделал для себя полтора года назад.

Давайте оставим решение этого вопроса на совести Tektronix – если ему будет надо, я думаю, он придет в редакцию журнала EDN и попросит о новом сравнении, с учетом того, что и у тройки мировых лидеров уже давно появились новые цифровые осциллографы и у Tektronix есть хороший повод реабилитироваться.

И что это вдруг вспомнилось о цивилизованных методах конкурентной борьбы? Мастер-Тул защищает интересы Tektronix, ПриСТ - LeCroy, кто-то Agilent Technologies, кто-то LG и т.д. и т.п. Если есть желание следовать путем здоровой конкуренции – приносите свой Tektronix к нам, или мы свой LeCroy к Вам, определим какие параметры основные, какие параметры вспомогательные, разработаем программу измерений, пригласим независимых экспертов, проведем измерения и поговорим. Будем сравнивать TDS-3000 серии с Wave Surfer, TDS-5000 и Wave Runner и т.д. А результаты опубликуем в российском журнале! А то так - такие комментарии никому не нужны и они больше напоминают разглагольства о вкусе колбасы, которую и видел только-то в рекламе, но никогда на зуб не пробовал! Хотя похоже, целью, как и предыдущих дискуссий, было не желание найти истину, а как у петуха - главное прокукарекать, а там хоть не рассветай.

Давайте поговорим о другом. В комментариях появились интересные нотки, заслуживающие внимания и не относящиеся к обсуждению статьи в журнале EDN. Это часть вопросов на которые инженеры ПРИСТ не могут найти ответа и мы надеемся на искреннюю помощь специалистов компании Мастер-Тул в прояснении этих вопросов. И я прошу, отнеситесь к этому серьезно, а то вопросы по осциллографам TDS1000-2000 серии так и остались без ответа!

**Примечание:** Эксперименты, приведенные ниже, проводились не на топ-моделях осциллографов Tektronix и LeCroy, а не тех, что в России имеются в достатке – Tektronix TDS-5000, TDS-3000, TDS-2000, TDS-1000 серии и LeCroy WP-7000, WR-6000 и WS-400 серии и повторение этих экспериментов доступно каждому обладателю указанных моделей.

## «Витиеватые фразы по поводу интерполяции»

Что такое интерполяция и с чем ее едят, уже сказано не мало, но новичков отправим на ссылку <http://www.prist.ru/infos/articles/interpolations.pdf> для ознакомления.

Удивляет отношение «защитников Tektronix» к распространению слухов, что у LeCroy ничего хорошего тут нет, и даже уважаемое издание «КИПиС» в лице г-на Шумского И.А. (№ 5,6,7 за 2003 год) убеждает читателей, что у осциллографов LeCroy интерполяция  $\sin^2 x$  – не является стандартной. Очевидно г-н Шумский И.А. не присутствовал на часовом ознакомлении с осциллографами LeCroy, на котором присутствовали представители компании Мастер-Тул и сведения об этом он, вероятно, почерпнул из информационных листов, любезно публикуемых компанией Tektronix, о которых мы уже говорили.

Итак господа, успокойтесь, во всех пяти сериях цифровых осциллографов Wave Surfer, Wave Runner, Wave Pro, Wave Master и SDA, присутствует интерполяция  $\sin^2 x$ .

Одним из основных преимуществ цифровых осциллографов перед аналоговыми является возможность сохранения результатов сбора данных о форме сигнала в файлы и передачи по каналам связи для дальнейшей обработки. Осциллограф в процессе сбора информации о форме входного сигнала записывает во внутреннюю память число точек дискретизации численно равное длине памяти, например 500, 1М или 24М. Далее они выводятся на экран для отображения. При использовании интерполяции  $\sin^2 x$  для «сглаживания» сигнала добавляется 10 дополнительных точек в структуру сигнала. Т.е по правилам математики если теперь эту информацию сохранить файл, то его размер должен увеличиться в 10 раз. Подадим сигнал на вход осциллографа LeCroy WR6100 и снижением частоты дискретизации умышленно создадим условия, при которых на один период сигнала приходится, примерно, четыре отсчета. Длину памяти установим 50. На рис.1 видно, что для «сглаживания» сигнала необходимо применить интерполяцию  $\sin^2 x$ .

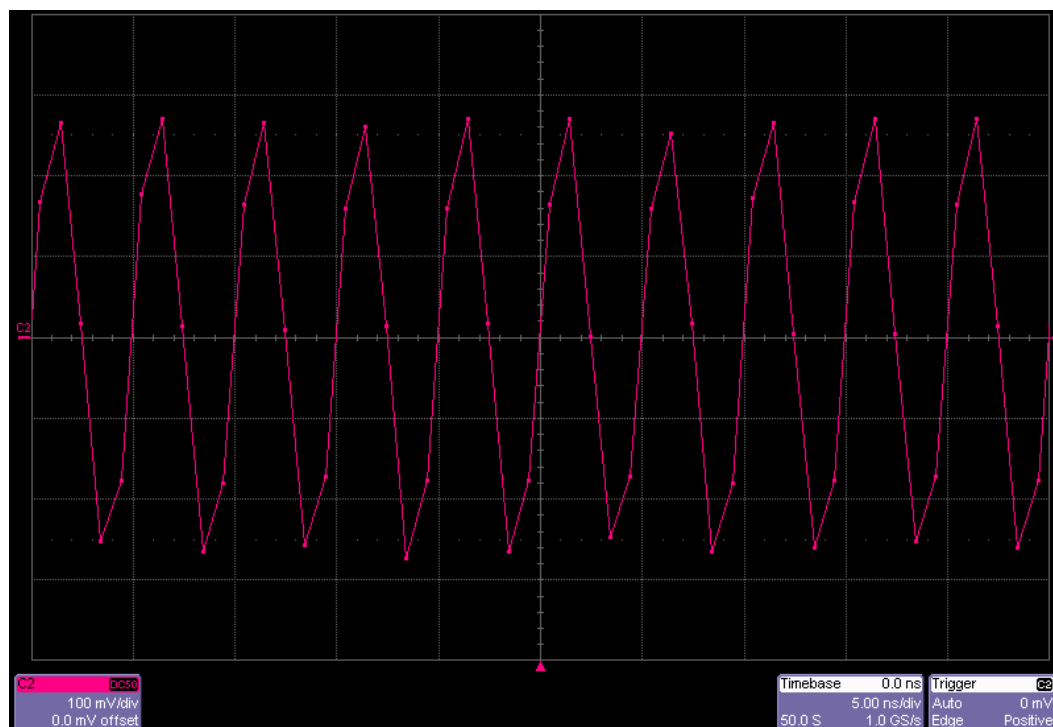


Рис.1 линейная интерполяция

Сохраним до включения интерполяции  $\sin x$  данные в Excel файл.  
Включим интерполяцию  $\sin x$  и снова сохраним данные в Excel файл.

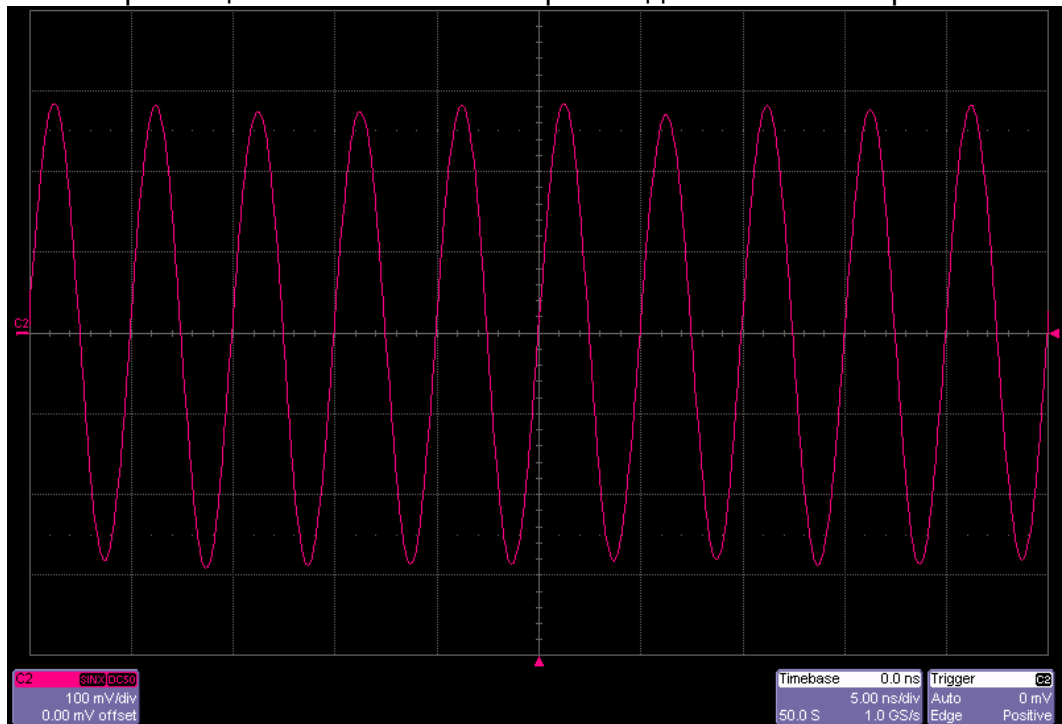


Рис.2 интерполяция  $\sin x$

Раскрыв оба файла видно, что количество точек сохраненное во втором файле (с интерполяцией  $\sin x$ ) в 10 раз больше 52 против 520. (см. рис 3).

| LIN3 |           |           |   |
|------|-----------|-----------|---|
|      | A         | B         | C |
| 1    | -2,58E-08 | -0,225392 |   |
| 2    | -2,48E-08 | 0,106067  |   |
| 3    | -2,38E-08 | 0,278426  |   |
| 4    | -2,28E-08 | 0,0707114 |   |
| 5    | -2,18E-08 | -0,234231 |   |
| 6    | -2,08E-08 | -0,212134 |   |
| 7    | -1,98E-08 | 0,0972281 |   |
| 8    | -1,88E-08 | 0,278426  |   |
| 46   | 1,92E-08  | -0,225392 |   |
| 47   | 2,02E-08  | 0,106067  |   |
| 48   | 2,12E-08  | 0,278426  |   |
| 49   | 2,22E-08  | 0,0751308 |   |
| 50   | 2,32E-08  | -0,234231 |   |
| 51   | 2,42E-08  | -0,220973 |   |
| 52   | 2,52E-08  | 0,106067  |   |
| 53   |           |           |   |
| 54   |           |           |   |
| 55   |           |           |   |
| 56   |           |           |   |
| 57   |           |           |   |
| 58   |           |           |   |

| C2SIN300005 |               |             |   |
|-------------|---------------|-------------|---|
|             | A             | B           | C |
| 1           | -2.50687e-008 | -0.0131548  |   |
| 2           | -2.49687e-008 | 0.0239963   |   |
| 3           | -2.48687e-008 | 0.0608194   |   |
| 4           | -2.47687e-008 | 0.0967447   |   |
| 5           | -2.46687e-008 | 0.131203    |   |
| 6           | -2.45687e-008 | 0.16352     |   |
| 7           | -2.44687e-008 | 0.193041    |   |
| 8           | -2.43687e-008 | 0.219178    |   |
| 492         | 2.40313e-008  | -0.254585   |   |
| 493         | 2.41313e-008  | -0.239859   |   |
| 494         | 2.42313e-008  | -0.221111   |   |
| 495         | 2.43313e-008  | -0.198496   |   |
| 496         | 2.44313e-008  | -0.172359   |   |
| 497         | 2.45313e-008  | -0.143166   |   |
| 498         | 2.46313e-008  | -0.111488   |   |
| 499         | 2.47313e-008  | -0.0779275  |   |
| 500         | 2.48313e-008  | -0.0430897  |   |
| 501         | 2.49313e-008  | -0.00745784 |   |
| 502         | 2.50313e-008  | 0.0284157   |   |
| 503         |               |             |   |
| 504         |               |             |   |

рис. 3 данные Excel файла

Используя стандартные средства Excel, по полученным точкам воспроизведем форму сигнала – видно, что они точно повторяют полученные осциллограммы. Попробуем произвести математическую функцию  $\sin x$ , используя внутренние математические функции – результат аналогичный предыдущему (см. рис.4).

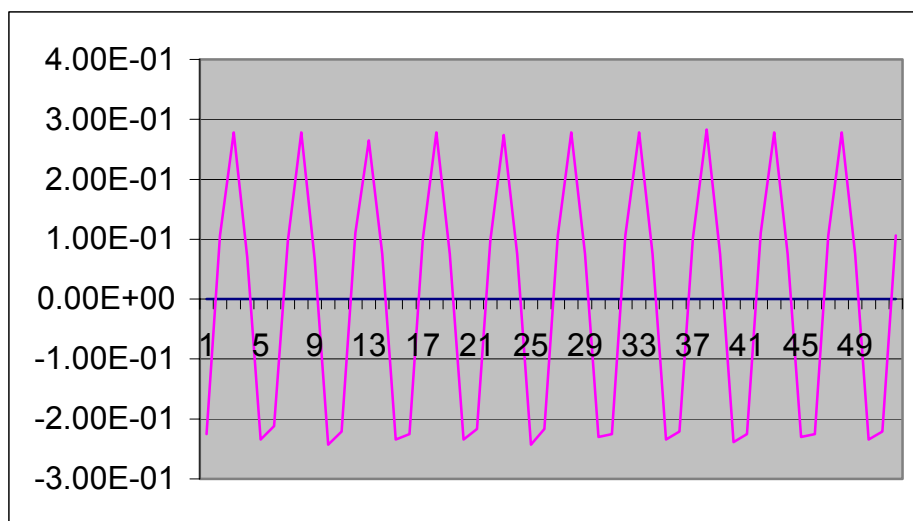


рис. 4 график Excel файла линейная интерполяция

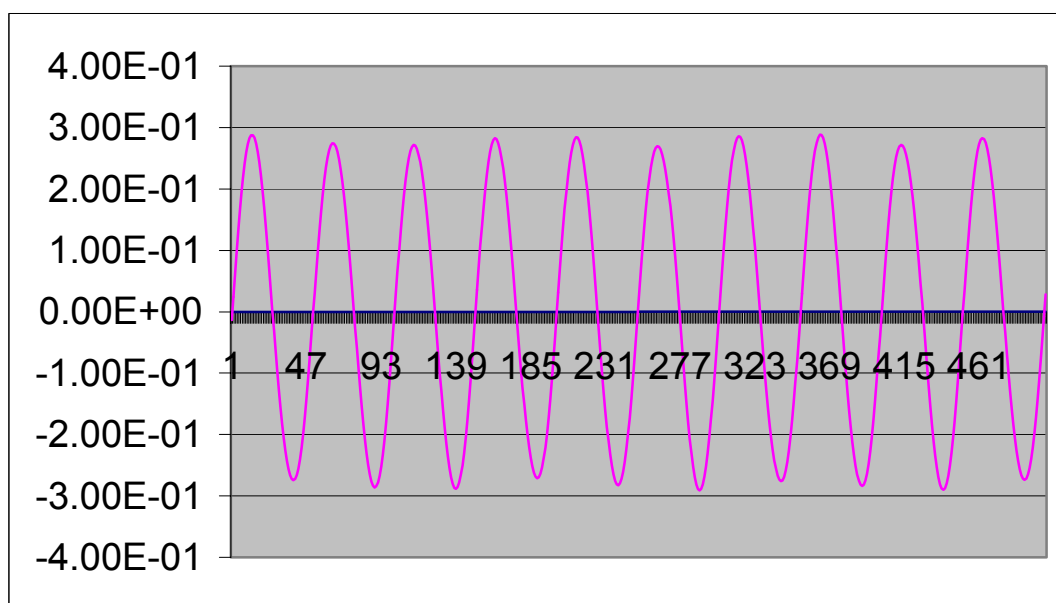


рис. 5 график Excel файла интерполяция  $\sin x$

Зайдем к интерполяции  $\sin x$  с другого конца – не будем включать ее в канале отклонения, а применим математическую функцию  $\sin x$ . На рис. 6 изображена осциллограмма с двумя картинками в линейной интерполяции и синусоидальной интерполяции.

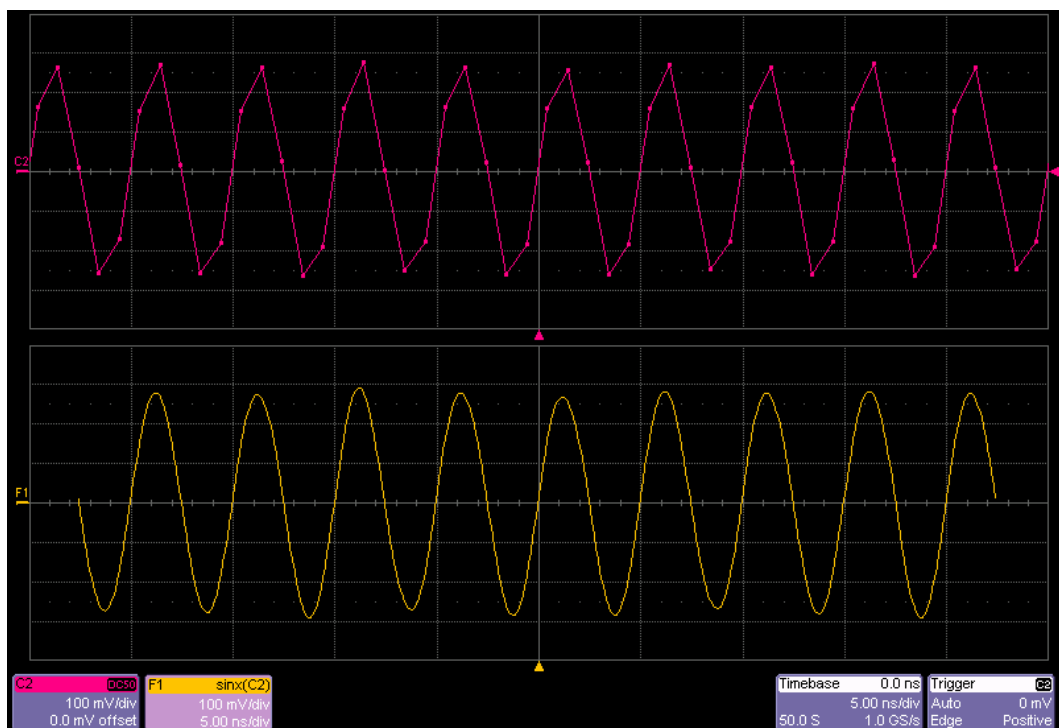


рис. 6 математическая функция  $\sin x$

Сохраним данные интерполяции в файл – он содержит 451 точку (примерно в 10 раз больше, но поскольку условия теоремы Котельникова нарушены – спектр нашего сигнала бесконечный, части точек мы лишились) (см. рис. 7)

| F1SIN300000 |               |             |   |   |
|-------------|---------------|-------------|---|---|
|             | A             | B           | C | D |
| 1           | -2.22458e-008 | -0.110486   |   |   |
| 2           | -2.21458e-008 | -0.14232    |   |   |
| 3           | -2.20458e-008 | -0.171979   |   |   |
| 4           | -2.19458e-008 | -0.19891    |   |   |
| 5           | -2.18458e-008 | -0.222665   |   |   |
| 6           | -2.17458e-008 | -0.242915   |   |   |
| 7           | -2.16458e-008 | -0.259367   |   |   |
| 8           | -2.15458e-008 | -0.271762   |   |   |
| 436         | 2.12542e-008  | 0.278305    |   |   |
| 437         | 2.13542e-008  | 0.273748    |   |   |
| 438         | 2.14542e-008  | 0.264701    |   |   |
| 439         | 2.15542e-008  | 0.25127     |   |   |
| 440         | 2.16542e-008  | 0.233662    |   |   |
| 441         | 2.17542e-008  | 0.212134    |   |   |
| 442         | 2.18542e-008  | 0.187119    |   |   |
| 443         | 2.19542e-008  | 0.159135    |   |   |
| 444         | 2.20542e-008  | 0.128717    |   |   |
| 445         | 2.21542e-008  | 0.0963822   |   |   |
| 446         | 2.22542e-008  | 0.0626148   |   |   |
| 447         | 2.23542e-008  | 0.0278806   |   |   |
| 448         | 2.24542e-008  | -0.00735426 |   |   |
| 449         | 2.25542e-008  | -0.0425546  |   |   |
| 450         | 2.26542e-008  | -0.0771506  |   |   |
| 451         | 2.27542e-008  | -0.110486   |   |   |
| 452         |               |             |   |   |

рис. 7 данные Excel файла математической функции  $\sin x$

Опять же в Excel строим график (см. рис.8) – расхождений с осциллограммой нет.

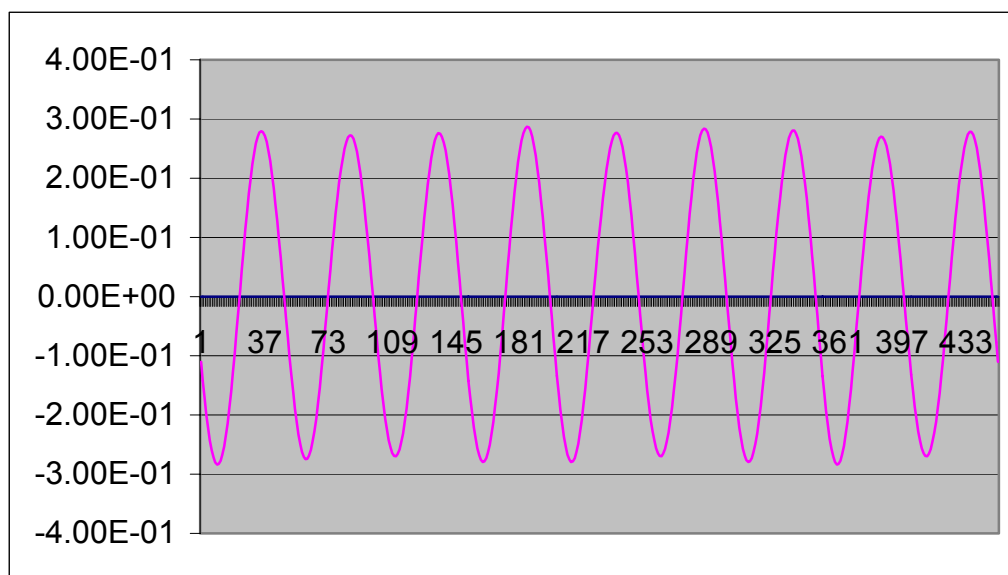


рис. 8 график Excel файла математической функции  $\sin x$

То есть с интерполяцией у LeCroy все честно и правильно – хотите заходите слева, хотите заходите справа, сверху или снизу, хотите - в файл, хотите из файла - результат всегда одинаковый. С осциллографами серии 8000 и 6000 не будем проводить экспериментов – все аналогично, поверьте.

Проведем аналогичный эксперимент с осциллографом Tektronix TDS 5104B. Подадим на вход сигнал частотой 1ГГц и уровнем 0dBm, включим два канала, в этом случае Tektronix TDS 5104B обеспечивает частоту дискретизации 2,5ГГц – самое время показать действие интерполяции  $\sin x$ .



| lin1-1GHz.csv |           |        |   | sin-1GHz.csv |           |        |  |
|---------------|-----------|--------|---|--------------|-----------|--------|--|
|               | D         | E      | F |              | D         | E      |  |
| 1             | -4.98E-08 | 0.056  |   | 1            | -4.98E-08 | 0.056  |  |
| 2             | -4.96E-08 | 0.256  |   | 2            | -4.96E-08 | 0.256  |  |
| 3             | -4.94E-08 | 0.088  |   | 3            | -4.94E-08 | 0.088  |  |
| 4             | -4.92E-08 | -0.192 |   | 4            | -4.92E-08 | -0.192 |  |
| 5             | -4.90E-08 | -0.2   |   | 5            | -4.90E-08 | -0.2   |  |
| 6             | -4.88E-08 | 0.048  |   | 6            | -4.88E-08 | 0.048  |  |
| 7             | -4.86E-08 | 0.24   |   | 7            | -4.86E-08 | 0.24   |  |
| 490           | 4.80E-08  | -0.208 |   | 490          | 4.80E-08  | -0.208 |  |
| 491           | 4.82E-08  | 0.056  |   | 491          | 4.82E-08  | 0.056  |  |
| 492           | 4.84E-08  | 0.24   |   | 492          | 4.84E-08  | 0.24   |  |
| 493           | 4.86E-08  | 0.088  |   | 493          | 4.86E-08  | 0.088  |  |
| 494           | 4.88E-08  | -0.2   |   | 494          | 4.88E-08  | -0.2   |  |
| 495           | 4.90E-08  | -0.208 |   | 495          | 4.90E-08  | -0.208 |  |
| 496           | 4.92E-08  | 0.064  |   | 496          | 4.92E-08  | 0.064  |  |
| 497           | 4.94E-08  | 0.248  |   | 497          | 4.94E-08  | 0.248  |  |
| 498           | 4.96E-08  | 0.104  |   | 498          | 4.96E-08  | 0.104  |  |
| 499           | 4.98E-08  | -0.192 |   | 499          | 4.98E-08  | -0.192 |  |
| 500           | 5.00E-08  | -0.2   |   | 500          | 5.00E-08  | -0.2   |  |
| 501           |           |        |   | 501          |           |        |  |
| 502           |           |        |   | 502          |           |        |  |
| 503           |           |        |   | 503          |           |        |  |
| 504           |           |        |   | 504          |           |        |  |

рис. 11 данные Excel файлов

Картинки на экране осциллографа подтверждают наличие интерполяции  $\sin x/x$ , но размер обоих файлов одинаковый, данные совпадают на 100%! Воспроизведение формы сигнала из полученных данных показывает, что обе осциллограммы имеют линейную интерполяцию.

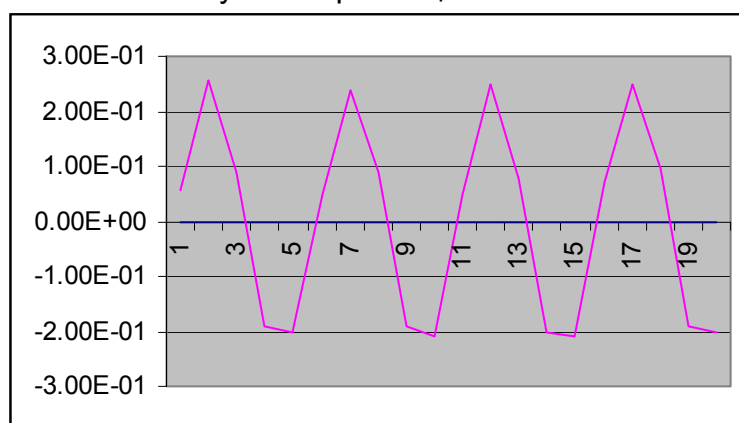


рис. 12 график Excel файла линейная интерполяция

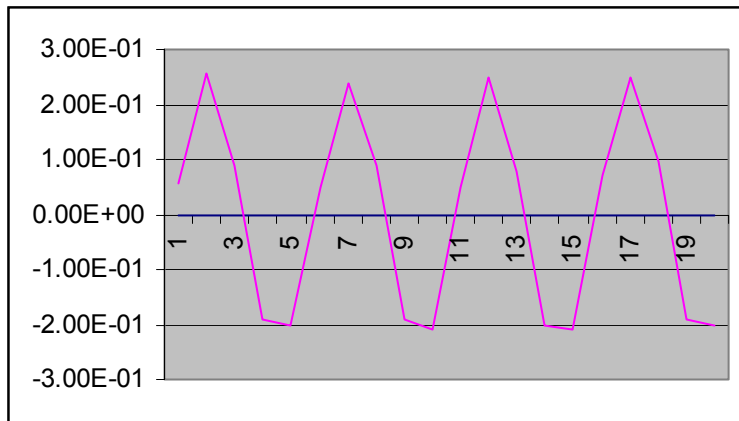


рис. 13 график Excel файла интерполяция  $\sin x$

Воспользуемся программным обеспечением Wave Star, являющимся штатным для всех осциллографов Tektronix.

Результаты подтверждаются - вне зависимости от того, какой вид интерполяции включен – в файл и на компьютер всегда «скидываются» данные в линейной интерполяции.

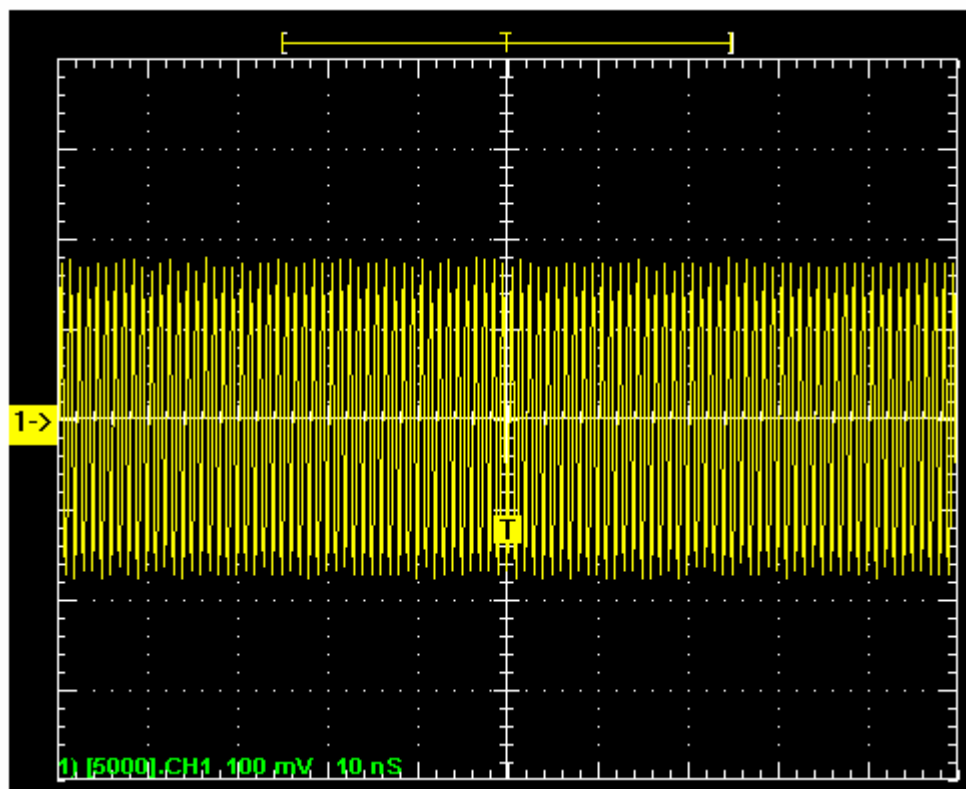


рис. 14 Входной сигнал частотой 1 ГГц и уровнем 0 dBm, интерполяция  $\sin x$ .

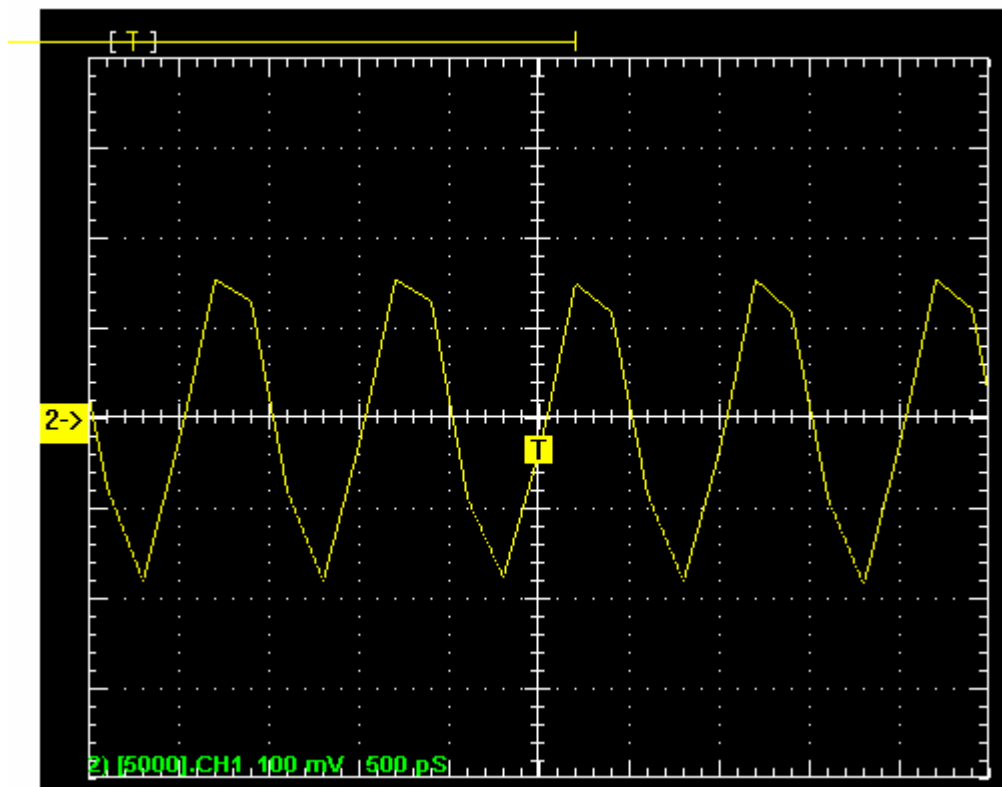


рис. 15 Растяжка сигнала – отчетливо видна линейная интерполяция

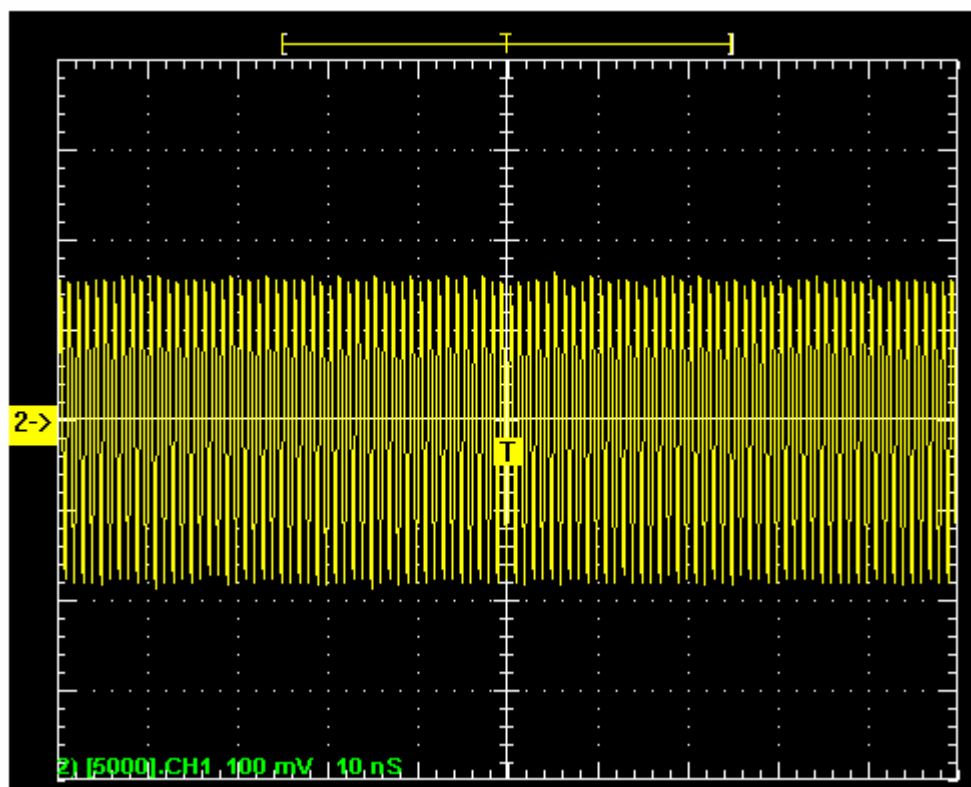


рис. 16 Входной сигнал частотой 1 ГГц и уровнем 0 dBm, интерполяция.

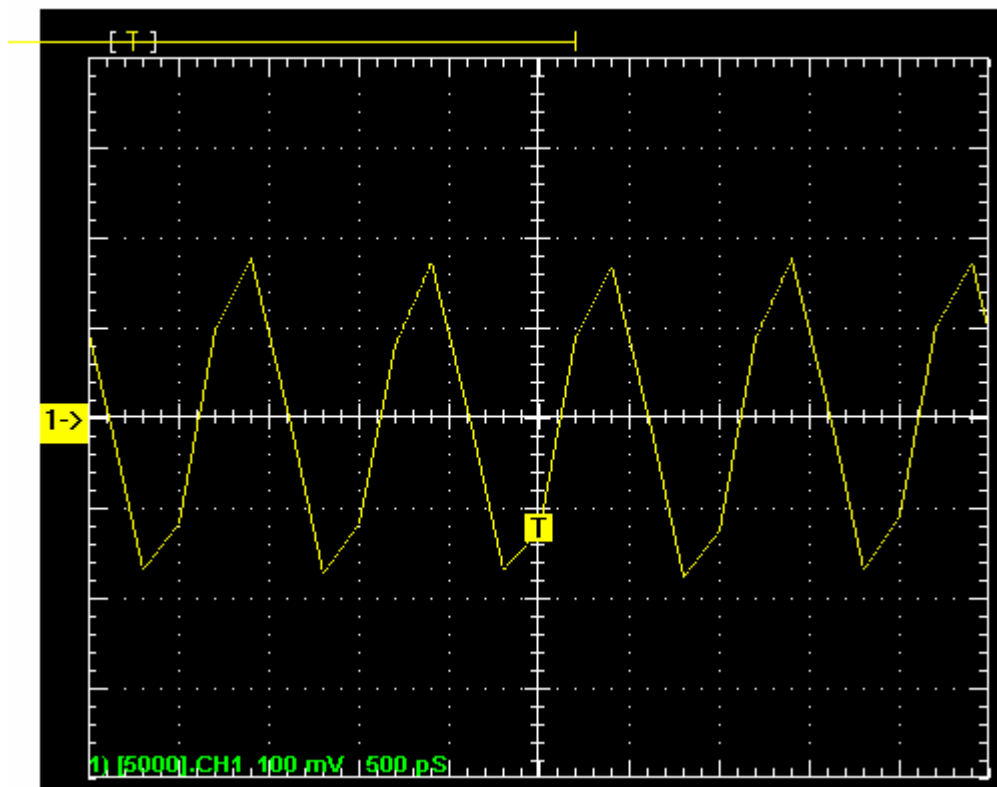


рис. 17 Растяжка сигнала – отчетливо видна линейная интерполяция

Произвести математическую обработку полученных данных внутренними математическими средствами не представляется возможным из-за отсутствия математической функции  $\sin x/x$ .

Проведем аналогичные результаты с осциллографами TDS-3000 и TDS-2000 (эксперимент с TDS-1000 серии проводить не будем – он имеет ту же архитектуру, что и TDS-2000).

Ввиду того, что TDS-3000 и TDS-2000 не имеют возможности уменьшения частоты дискретизации эффект «четыре точки на период» симитируем подачей на вход частоты 10 МГц на развертке 20 мкс с последующей растяжкой.

Дальше слов будет мало, что бы по три раза не повторять одно и то же. Итак TDS-3000:

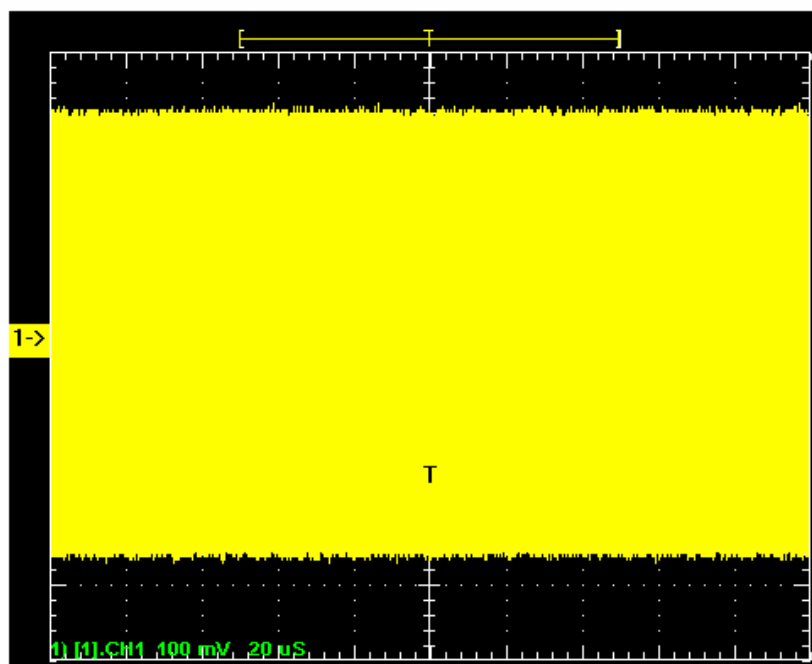


рис. 18 Входной сигнал частотой 10 МГц и уровнем 0 dBm.

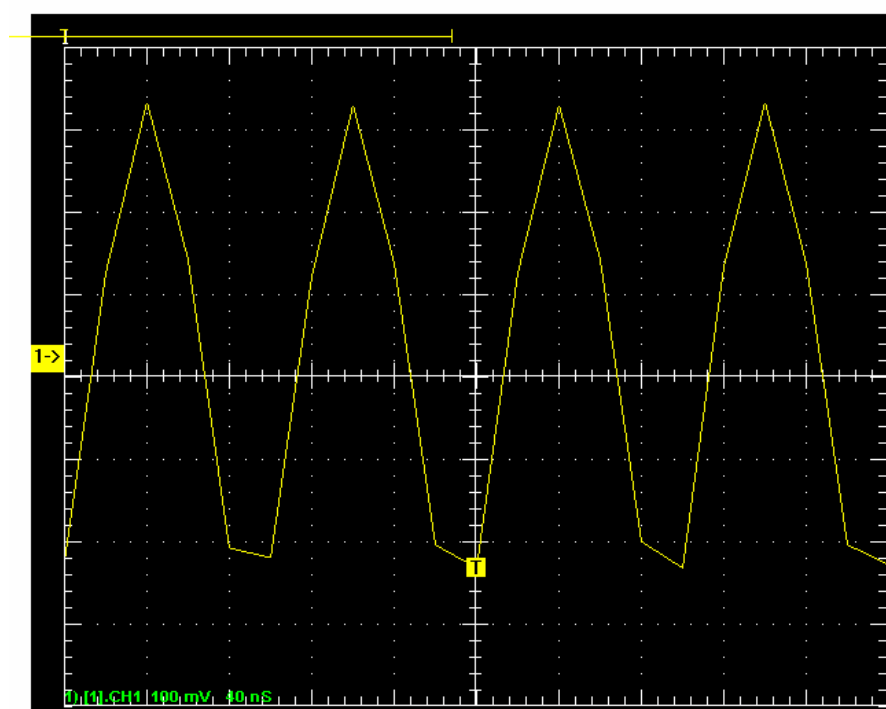


рис. 19 Растяжка сигнала – отчетливо видна линейная интерполяция

| Microsoft Excel - TEK00000.CSV |           |        |   |
|--------------------------------|-----------|--------|---|
| Файл Правка Вид Вставка Формат |           |        |   |
| D4 =                           |           |        |   |
|                                | A         | B      | C |
| 1                              | -1,00E-04 | -0,27  |   |
| 2                              | -1,00E-04 | 0,08   |   |
| 3                              | -1,00E-04 | 0,314  |   |
| 4                              | -9,99E-05 | 0,136  |   |
| 5                              | -9,99E-05 | -0,214 |   |
| 9985                           | 9,97E-05  | -0,21  |   |
| 9986                           | 9,97E-05  | -0,268 |   |
| 9987                           | 9,97E-05  | 0,066  |   |
| 9988                           | 9,97E-05  | 0,31   |   |
| 9989                           | 9,98E-05  | 0,14   |   |
| 9990                           | 9,98E-05  | -0,218 |   |
| 9991                           | 9,98E-05  | -0,274 |   |
| 9992                           | 9,98E-05  | 0,076  |   |
| 9993                           | 9,98E-05  | 0,306  |   |
| 9994                           | 9,99E-05  | 0,136  |   |
| 9995                           | 9,99E-05  | -0,21  |   |
| 9996                           | 9,99E-05  | -0,268 |   |
| 9997                           | 9,99E-05  | 0,074  |   |
| 9998                           | 9,99E-05  | 0,312  |   |
| 9999                           | 1,00E-04  | 0,144  |   |
| 10000                          | 1,00E-04  | -0,216 |   |
| 10001                          |           |        |   |

рис. 20 Файл Excel – честные 10K.

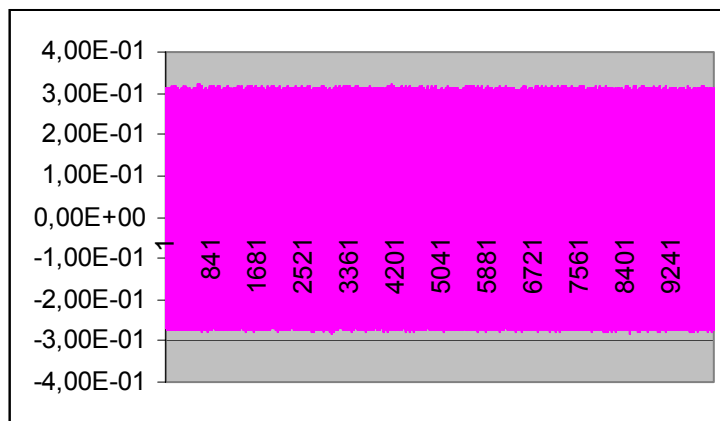


рис. 21 График из точек 10K – все как на экране

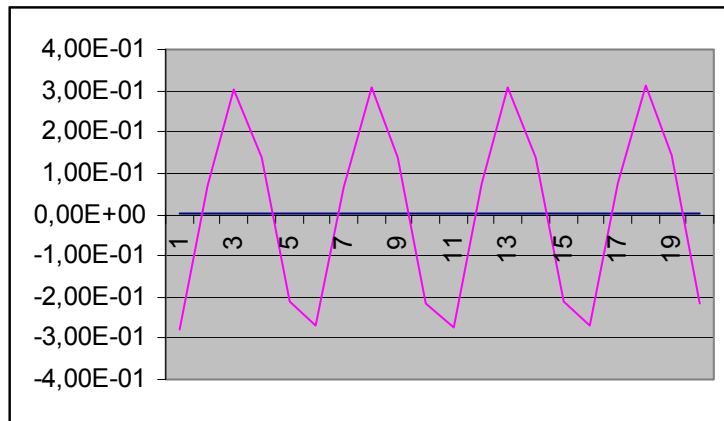


рис. 22 Выборка из 20 точек – все как на экране - линейная интерполяция

**Далее TDS-2000**

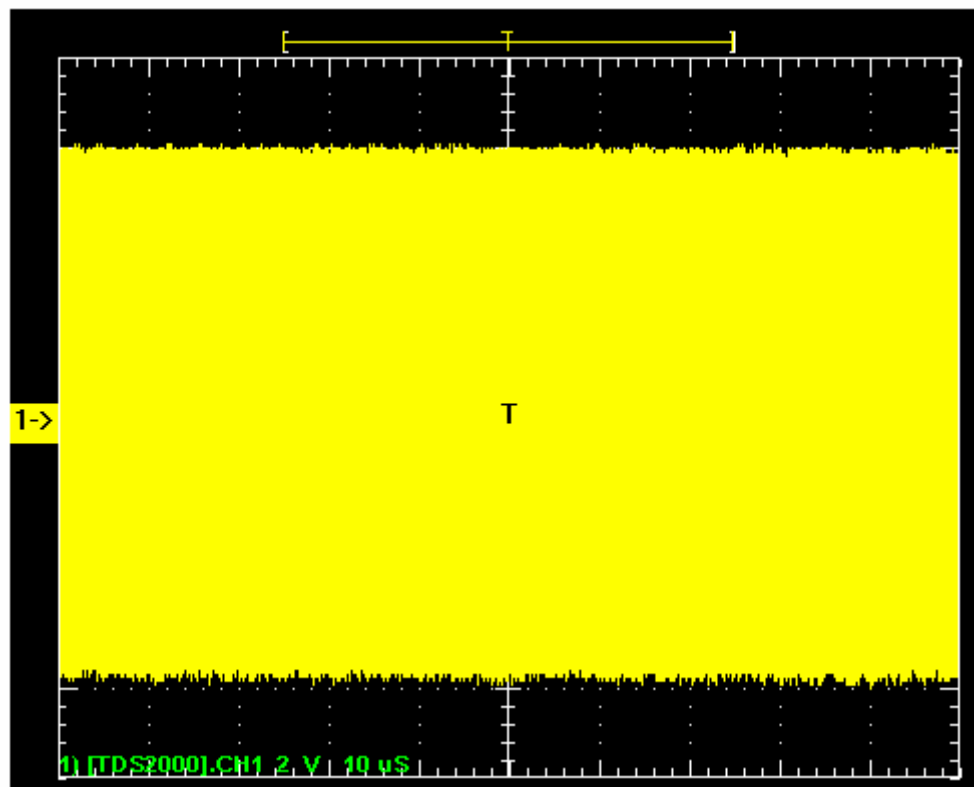


рис. 23 Входной сигнал частотой 10 МГц и уровнем 0 dBm

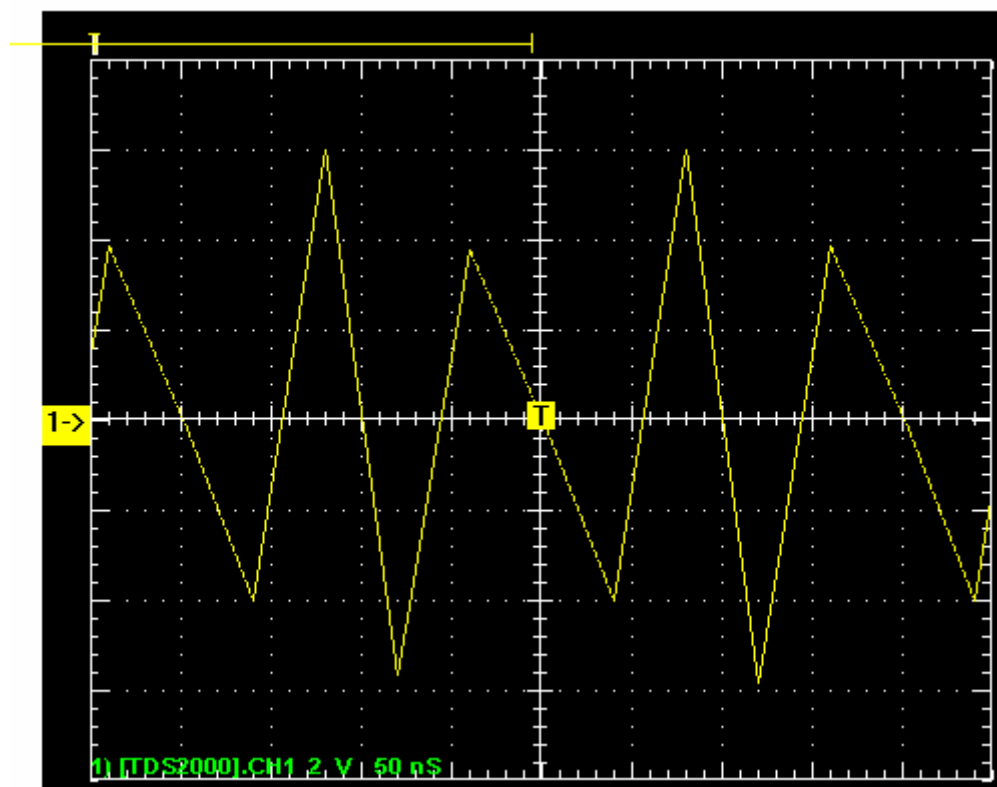


рис. 24 Растяжка сигнала – отчетливо видна линейная интерполяция

| Microsoft Excel - TEK2000.csv |           |       |   |
|-------------------------------|-----------|-------|---|
| Файл Правка Вид Вставка       |           |       |   |
| E8                            |           |       |   |
|                               | A         | B     | C |
| 1                             | -5,00E-05 | 3,6   |   |
| 2                             | -5,00E-05 | -6,08 |   |
| 3                             | -4,99E-05 | 6,32  |   |
| 4                             | -4,99E-05 | -3,6  |   |
| 5                             | -4,98E-05 | 0,24  |   |
| 6                             | -4,98E-05 | 3,6   |   |
| 7                             | -4,98E-05 | -6,08 |   |
| 8                             | -4,97E-05 | 6,32  |   |
| 2488                          | 4,95E-05  | 6,32  |   |
| 2489                          | 4,95E-05  | -3,84 |   |
| 2490                          | 4,96E-05  | 0,48  |   |
| 2491                          | 4,96E-05  | 3,36  |   |
| 2492                          | 4,96E-05  | -6,08 |   |
| 2493                          | 4,97E-05  | 6,24  |   |
| 2494                          | 4,97E-05  | -3,76 |   |
| 2495                          | 4,98E-05  | 0,48  |   |
| 2496                          | 4,98E-05  | 3,52  |   |
| 2497                          | 4,98E-05  | -6,08 |   |
| 2498                          | 4,99E-05  | 6,24  |   |
| 2499                          | 4,99E-05  | -3,84 |   |
| 2500                          | 5,00E-05  | 0,32  |   |
| 2501                          |           |       |   |
| 2502                          |           |       |   |

рис. 25 Файл Excel – честные 2,5K.

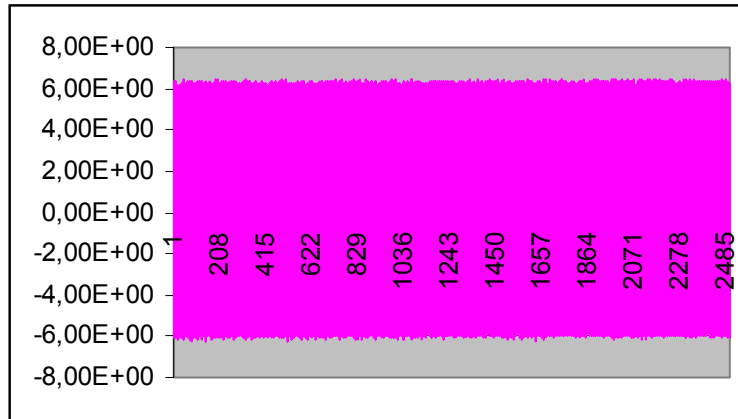


рис. 26 График из точек 2,5К – все как на экране

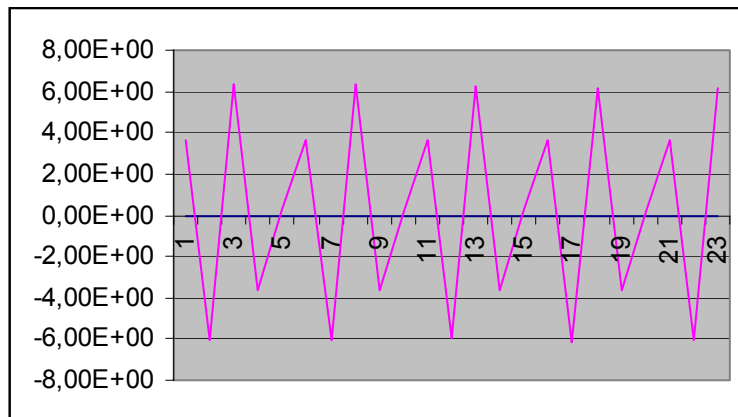


рис. 27 Выборка из 23 точек – все как на экране - линейная интерполяция

**Вопрос: 1. В каком месте у осциллографов Tektronix растворяется синусоидальная интерполяция и появляется линейная?**

**2. Каким образом результаты реализованной программно-аппаратной интерполяции  $\sin x/x$  в Tektronix могут быть представлены внешним файлом?**

**3. Синусоидальная интерполяция является аппаратной функцией экрана? Наряду с такими, как вид сетки, точечное или векторное представление сигнала и т.д.? Как можно объяснить ее местонахождение в функциях экрана?**

**Все изложенное действительно так (может быть были допущены какие-то ошибки), или инженерам АО ПРИСТ необходим дополнительный несколькихчасовой тренинг со специалистами Tektronix?**

**«за счет ВЧ коррекции с помощью цифрового ВЧ фильтра»**

LeCroy никогда не скрывал, что коррекция АЧХ в цифровых осциллографах производится, в том числе, и цифровыми методами. И в суд тут никто не собирается подавать, поскольку это правда. Но почему Tektronix упорно пытается отбрезаться от такого же метода коррекции АЧХ?

Проведем эксперимент - с калибратора И1-12 подадим импульс с временем нарастания 50 пс и амплитудой 200 мВ на вход осциллографов WS-454, WR-6100, WP-7100 и TDS-5104B. Параметры переходной характеристики суммарно отображают АЧХ и ФЧХ осциллографа. На рис. приведены осциллограммы для фронта нарастания.

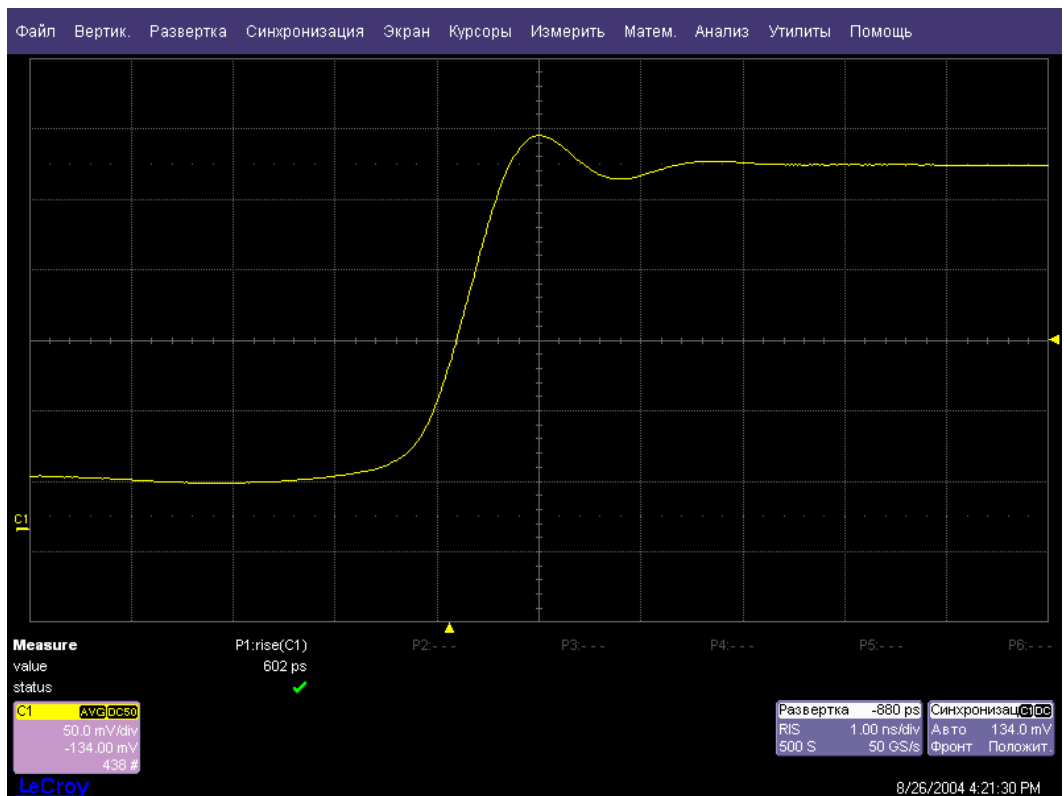


рис. 28 Нарастающий фронт на WS-454.

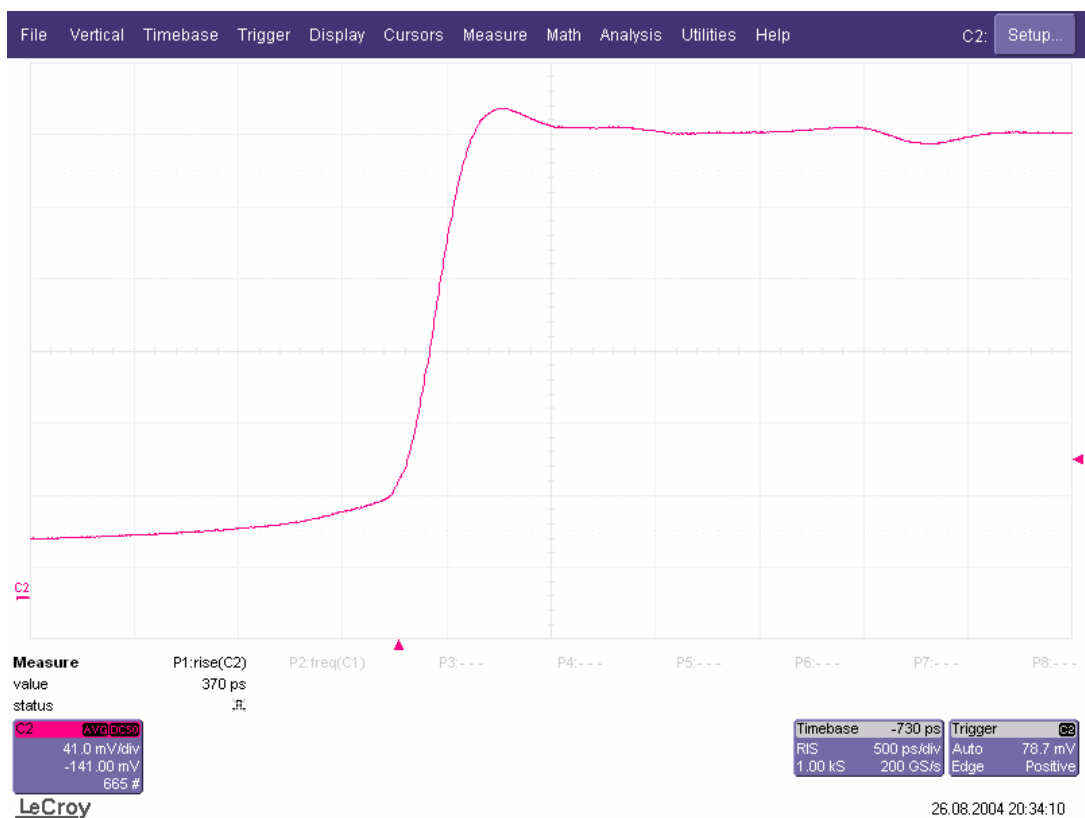


рис. 29 Нарастающий фронт на WR-6100

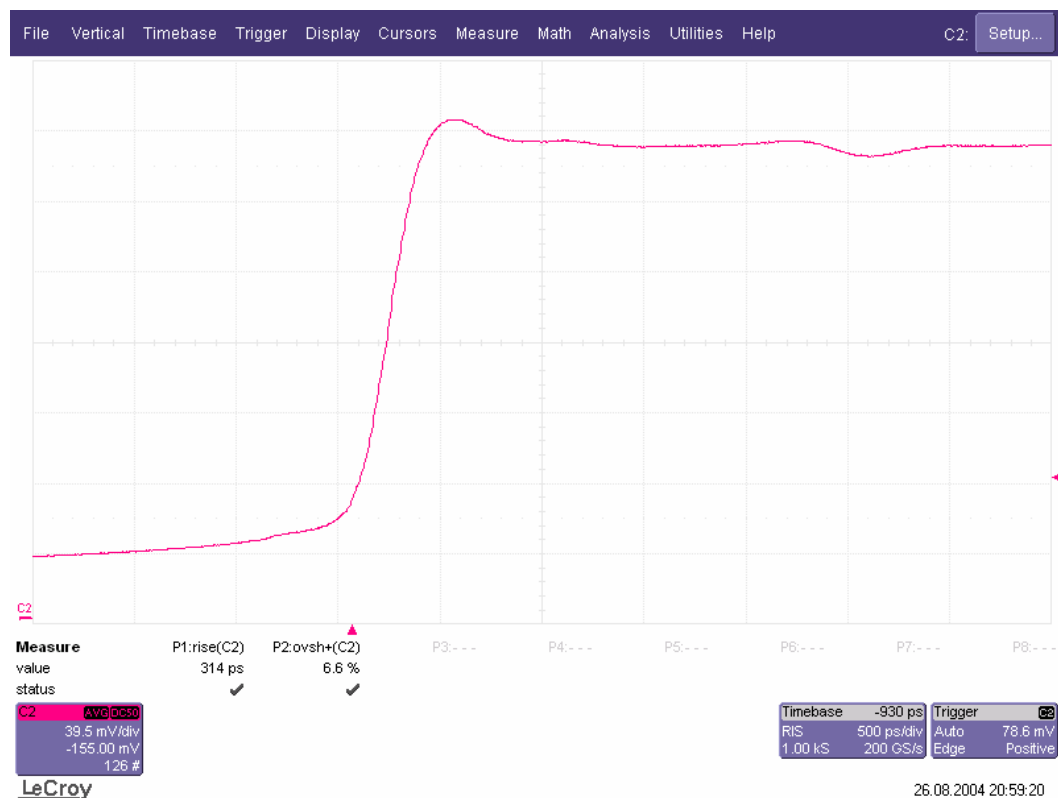


рис. 30 Нарастающий фронт на WP-7100

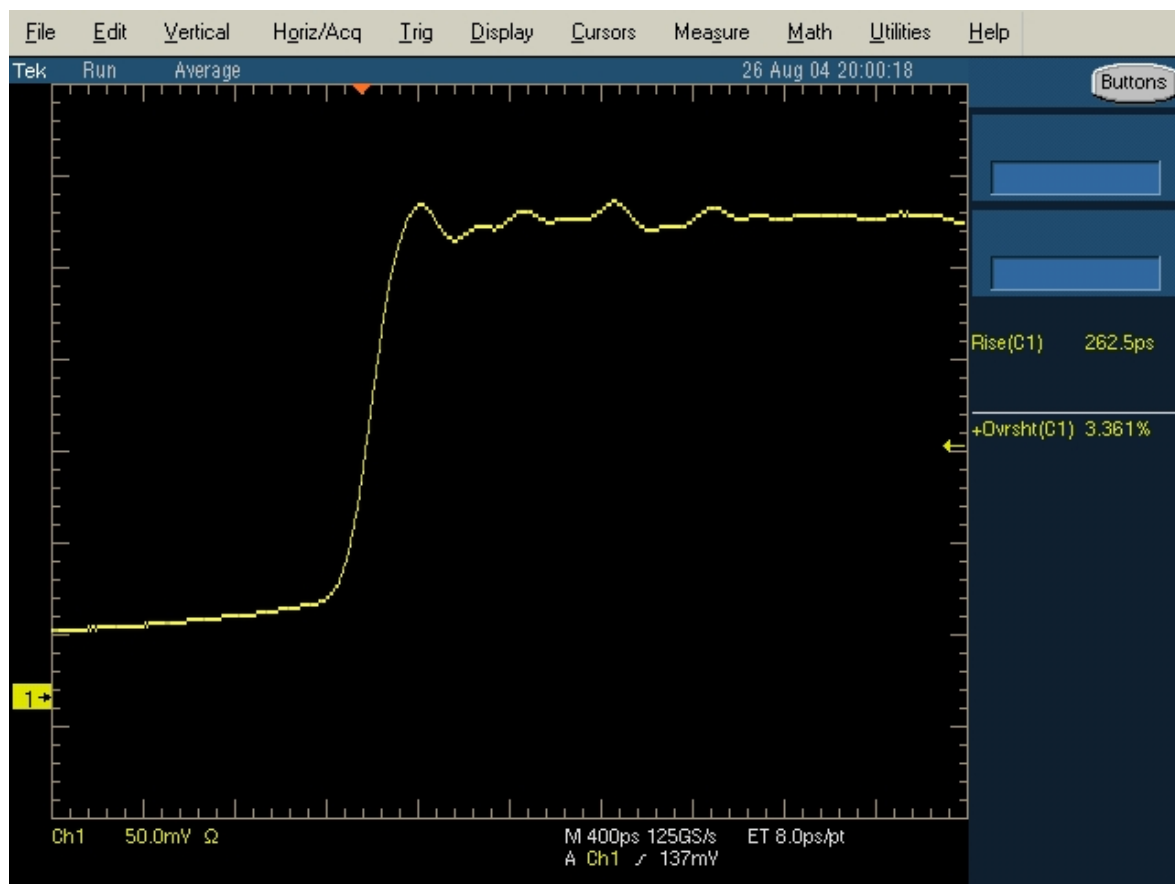


рис. 31 Нарастающий фронт на TDS-5104B

Как видно из осциллограмм, каких-то гигантских отличий в переходной характеристике не видно. За исключением того, что время установления ПХ у Tektronix 5104B несколько больше, чем у других экземпляров. А может это и есть дребезги от цифровой коррекции АЧХ? Кто его знает... Как видно цифровая коррекция АЧХ в LeCroy (да и в Tektronix тоже) не наносит ущерба ни корректному отображению формы сигнала, ни измерениям и ни чему вообще.

**Вопрос: 1. Вы будете дальше убеждать, что Tektronix не использует цифровую коррекцию АЧХ?**

**2. Если будете убеждать, что это не так, можно представить графики АЧХ и ФЧХ входного усилителя и графики полной АЧХ осциллографа (от входного гнезда до экрана). Если этих графиков не существует в природе, возможно ли их снять с реального осциллографа?**

**Информация для справки: цена интегрального усилителя с полосой частот от 0 до 8 ГГц равна 1,79\$.**

**«делаются попытки выдать скорость выполнения измерений за скорость захвата входных сигналов»**

**«можно указать какой-нибудь внутренний параметр прибора – например, время заполнения памяти, умолчав о том, что оно мало влияет на длительность рабочего цикла осциллографа (все равно этого не проверишь)»**

Чушь для дилетантов, никто никогда не утверждал, что в осциллографах LeCroy «скорость выполнения измерений выдается за скорость захвата входных сигналов». Обратите внимание на рисунки измерения БПФ (см. рис. 44). Для корректного измерения частоты в неподвижном сигнале, измеряются 555 периодов сигнала, а для измерения амплитуды этого же сигнала достаточно всего одного! Т.е. по логике «клуба любителей Tektronix» одну и ту же неподвижную осциллограмму можно захватить сразу и 555 раз, и 1 раз? Это как?

Но поговорим о скорости захвата входных сигналов и времени заполнения памяти. Не будем подвергать сомнению важность этого параметра, поскольку увеличение скорости захвата осциллограмм позволяет уменьшить влияние времени простоя цифрового осциллографа, что является его основным недостатком. LeCroy декларирует скорость захвата 150000 осциллограмм в секунду на 4 канала, т.е. на один канал приходится 37500 осциллограмм в секунду. Казалось бы, чего проще подключить частотомер на некий выход, на котором присутствует частота, синхронная с запуском развертки, и произвести измерение числа импульсов за секунду. Фактически это значение и есть количество запусков (или захвата осциллограмм) в секунду. Или можно воспользоваться «внутренними ресурсами» для выполнения этой задачи.

LeCroy WR-6100 и WP-7100. С ними по проще. Переводим осциллограф в режим последовательного сбора информации, например, по 5000 сегментов (он обеспечивает более высокий сбор осциллограмм и наглядную индикацию времени захвата осциллограмм). По таблице на экране определяем время между сегментами - минимальное составляет 3,536 мкс.

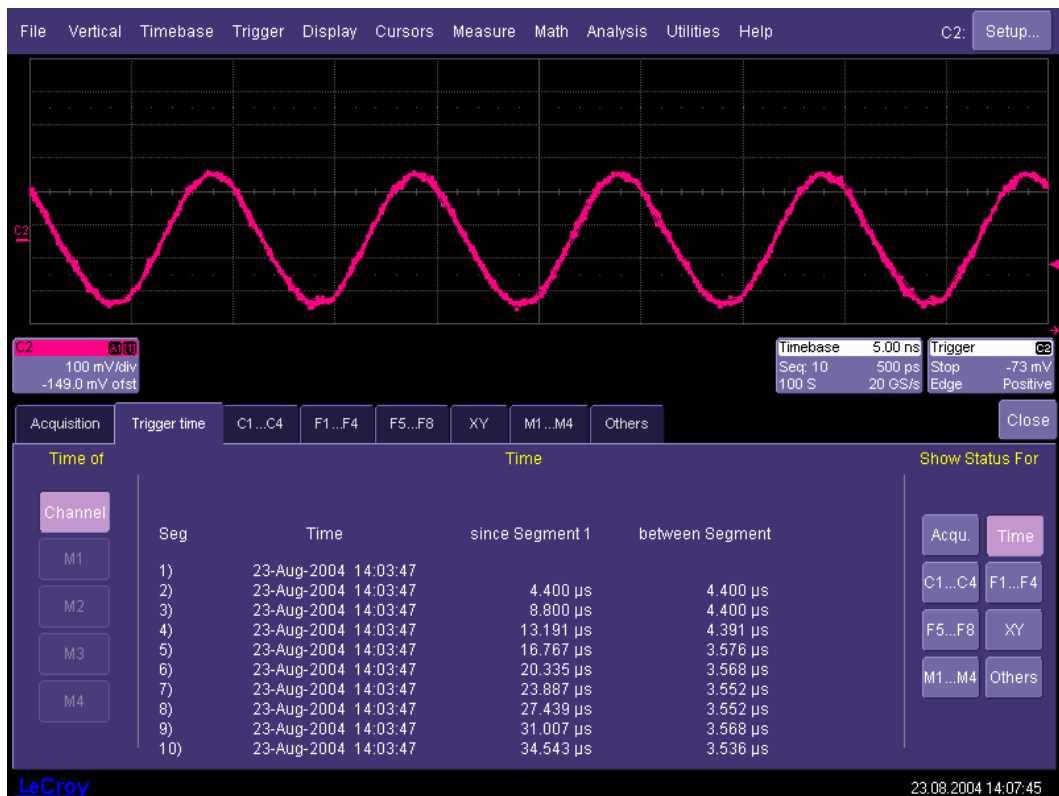


рис. 32

И определяем время между запусками. Как видно на рис.33 в секунду обеспечивается 3 запуска по 5000 осциллограмм, т.е. 15000 осциллограмм секунду на канал.

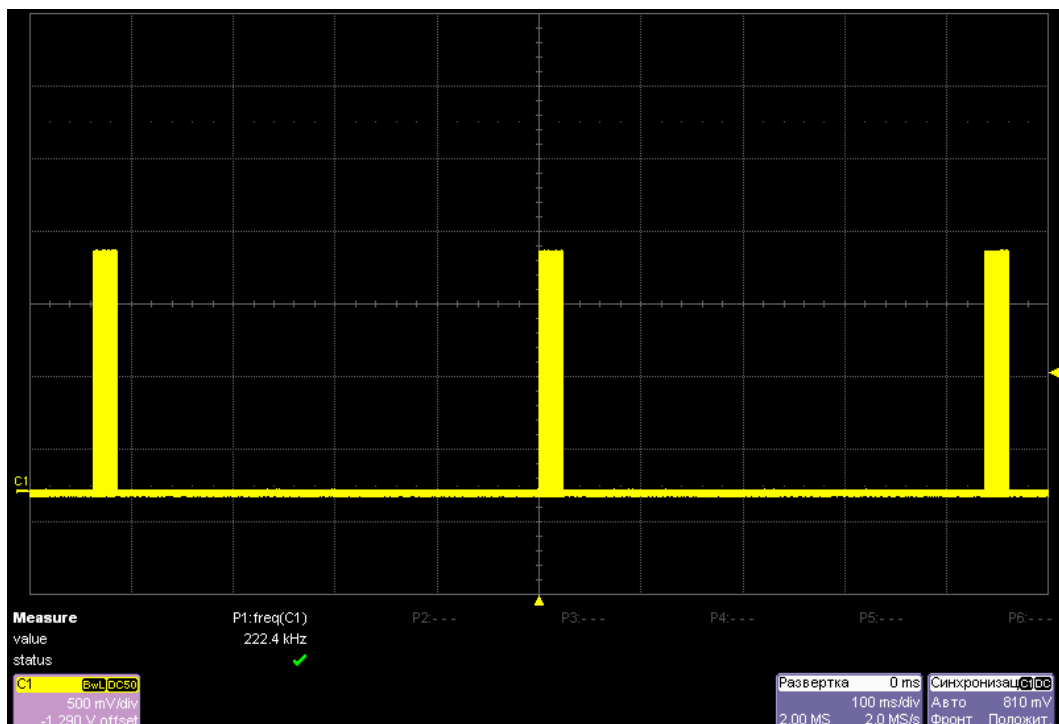


рис. 33

Для тех кто не верит, что в этой пачке 5000 запусков, сократим число запусков до 9 и см. новый рисунок, а недоверчивые могут посчитать...Но данные

подтверждаются при использовании частотомера в режиме счета числа импульсов за 1 с, совпадение полное!

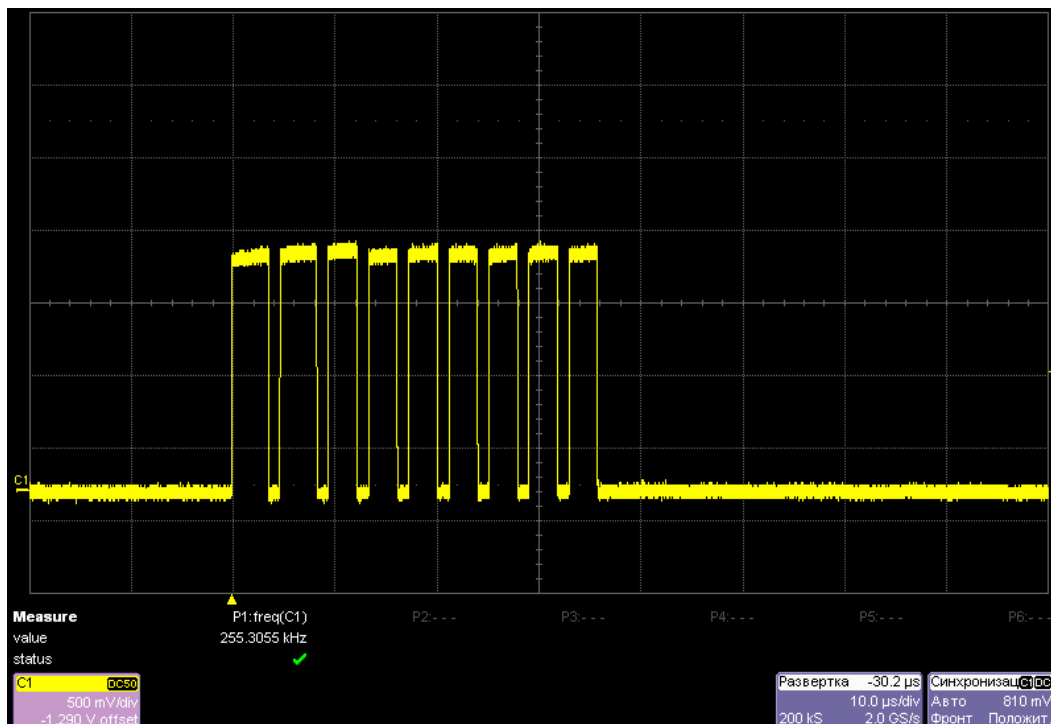


рис. 34

Справедливости ради отметим, что наши практические эксперименты позволили получить реальный захват 80000 осциллограмм (20 тысяч сегментов) в секунду по 4 каналам. И все эти осциллограммы реальные, точки отсчета возможно хранить в файле, возможно проводить измерения и т.д. и т.п.

Но это было максимальное, что можно получить. Вернемся к режиму обычного захвата осциллограмм. Осциллограф WR-6100 и WP-7100. Г-н Шумский И.А. в своей статье (о ней было сказано выше) утверждает, что только Tektronix обеспечивает высокую скорость сбора осциллограмм при интерполяции  $\sin^2 x$ , а LeCroy и Agilent «несколько осциллограмм в секунду», да и то «замирают в режиме автоматического запуска».

Итак, входной сигнал 1 ГГц, время развертки минимальное, частота дискретизации 5 ГГц, память 500 точек. Переключаем интерполяцию из линейной в  $\sin^2 x$  - на рис. 35 они приведены вместе, для наглядного сравнения (осциллограммы подписаны). Как видно при изменении вида интерполяции число захвата осциллограмм уменьшается на 6%

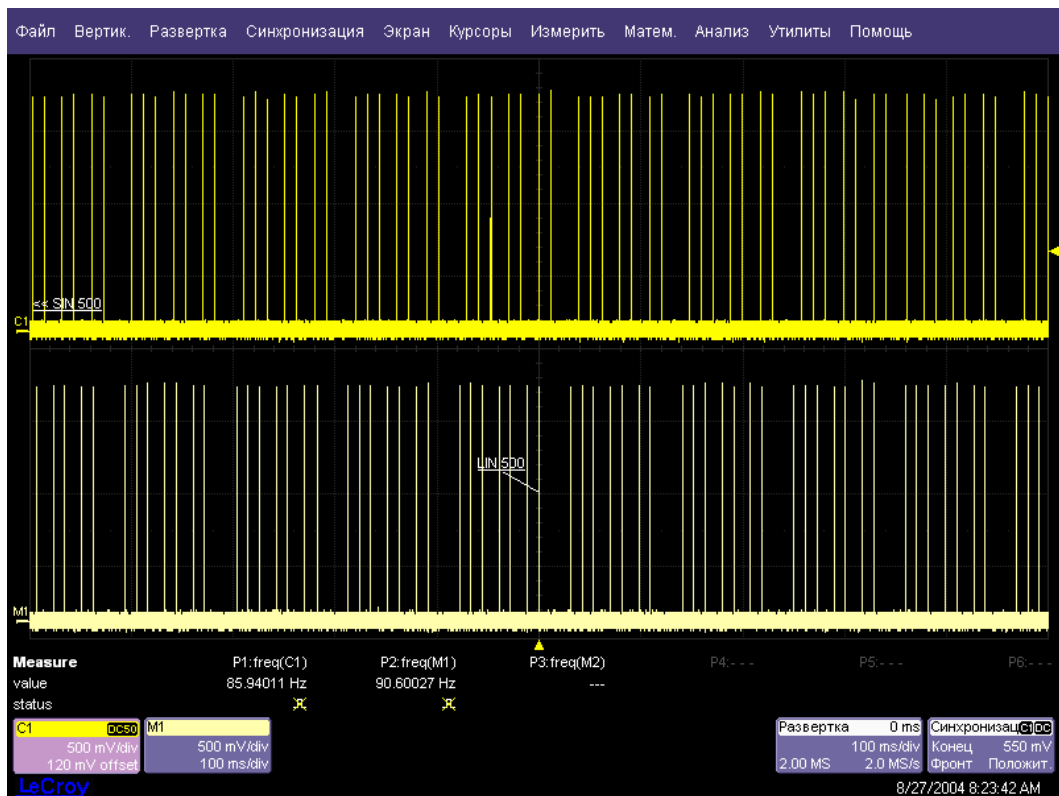


рис. 35 изменение скорости захвата при изменении вида интерполяции, память 500

Увеличим длину памяти до 2,5 М и повторим эксперимент.

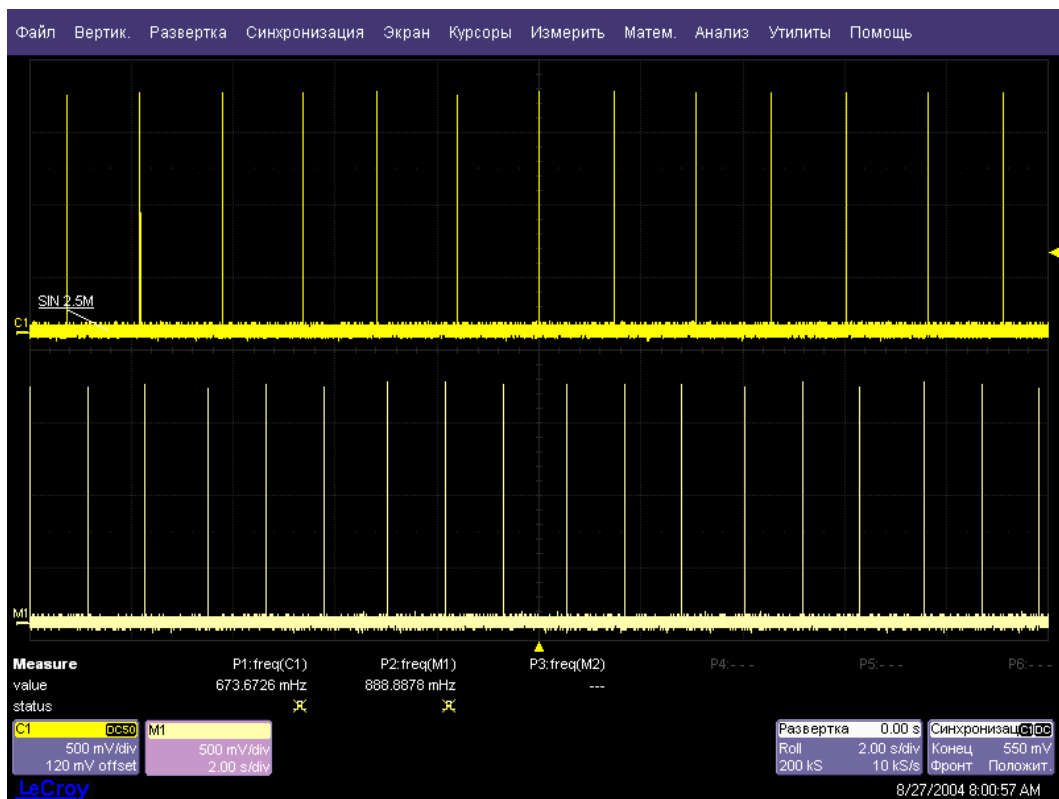


рис. 36 изменение скорости захвата при изменении вида интерполяции, память 2,5М

Как видно из рис. 36 при изменении вида интерполяции число захвата осциллограмм уменьшается примерно на 25%.

Так что количество захваченных осциллограмм в осциллографах LeCroy легко проверить, равно как и время рабочего цикла и время простоя. Ни мерцания, на «зависания» не наблюдается.

**Tektronix 5104B.** Подключаем частотомер к выходу внутренней синхронизации и проводим аналогичный эксперимент. Получаем среднее количество захвата осциллограмм на минимальной развертке – порядка 30 осциллограммы на канал в секунду!

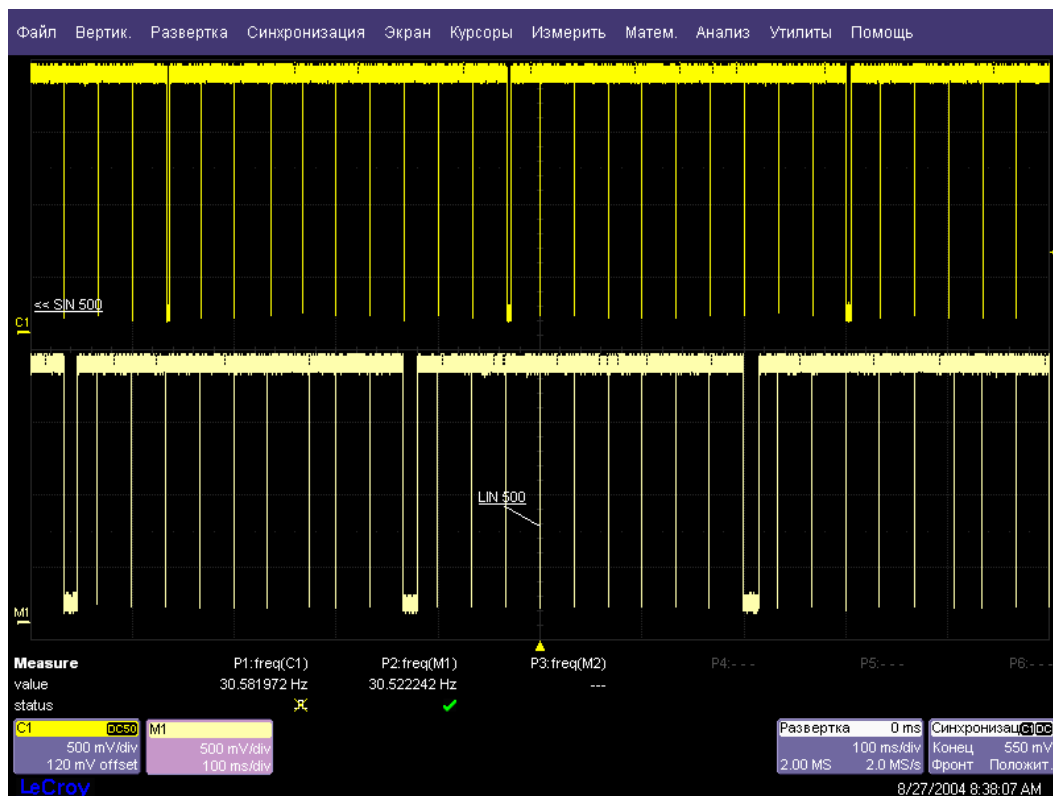


рис. 37 изменение скорости захвати при изменении вида интерполяции, память 500

Как видно при изменении вида интерполяции число захвата осциллограмм у Tektronix не изменяется и составляет 30 осциллограмм (напомним, что у LeCroy это было 86!).

Увеличим длину памяти до 2 М и повторим эксперимент.

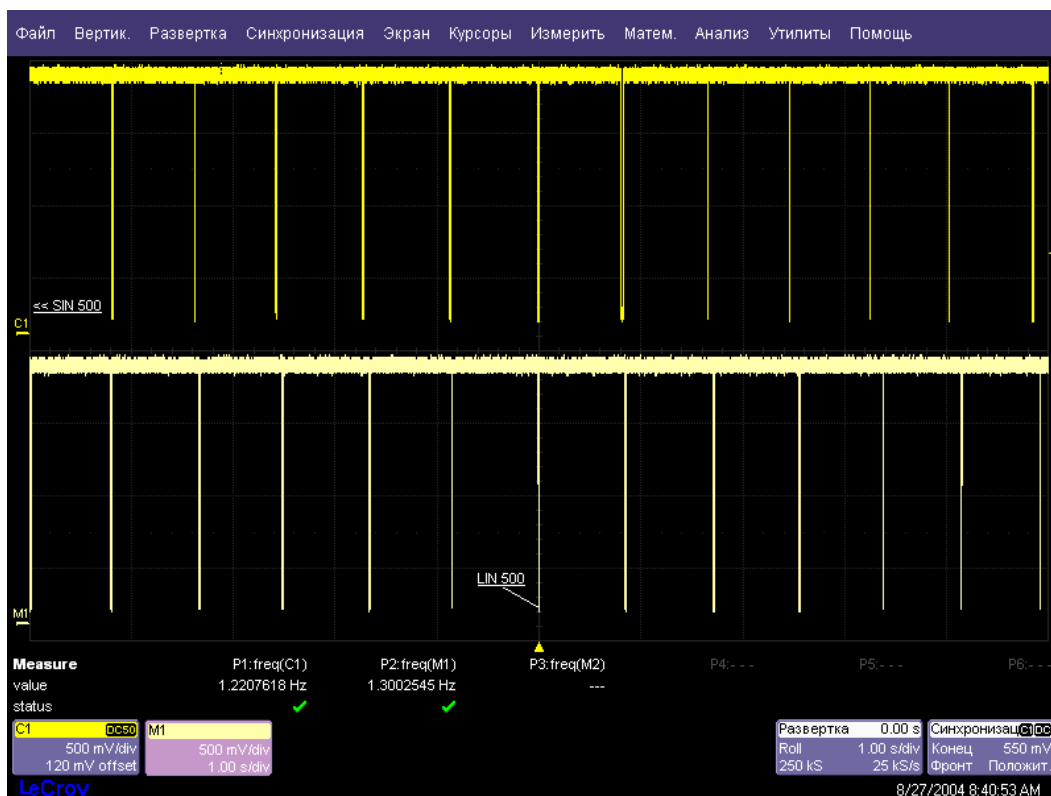


рис. 38 изменение скорости захвата при изменении вида интерполяции, память 2М

Как видно при изменении вида интерполяции число захвата осциллограмм у Tektronix не изменяется и составляет 1,3 осциллограмм.

Этот эксперимент еще раз подтверждает некоторую странность реализации в осциллографах Tektronix интерполяции  $\sin x/x$ . При совмещении анализа самой интерполяции и скорости захвата осциллограмм, становится очевидно, что на интерполяцию  $\sin x/x$  осциллографы Tektronix вообще не тратят никаких ресурсов. Ресурсов нет, файлов нет, а что же есть?

Как видно LeCroy обеспечивает в 3 раза больший захват осциллограмм на нано секундном диапазоне, при равной длине памяти. Но Tektronix обеспечивает в 2 раза больший захват осциллограмм на секундных диапазонах, но при соотношении памяти 2,5М (LeCroy) к 2М (Tektronix).

**2. Высказывание «можно указать какой-нибудь внутренний параметр прибора ... все равно этого не проверишь» относится к чему? Как оказалось проверить можно все!**

**О скорости захвата входных сигналов 2.** Бесспорно наивысшим достижением Tektronix является использование режима «Fast Acquisition» (и это без иронии, на глаз и так видно!) позволяющего повысить скорость захвата осциллограмм (А измерения показали в среднем порядка 140000 захватов в секунду на 1 канал!!! Ого-го!!!). Но после захвата любого числа осциллограмм, если попытаться сохранить полученные данные в файл, этот файл имеет очень странные данные. При попытке воспользоваться программным обеспечением Wave Star успеха так же не наблюдается не только в обмене полученными данными, но и воспроизведении осциллограммы, сохранить ее невозможно, а на экране появляется следующее сообщение:

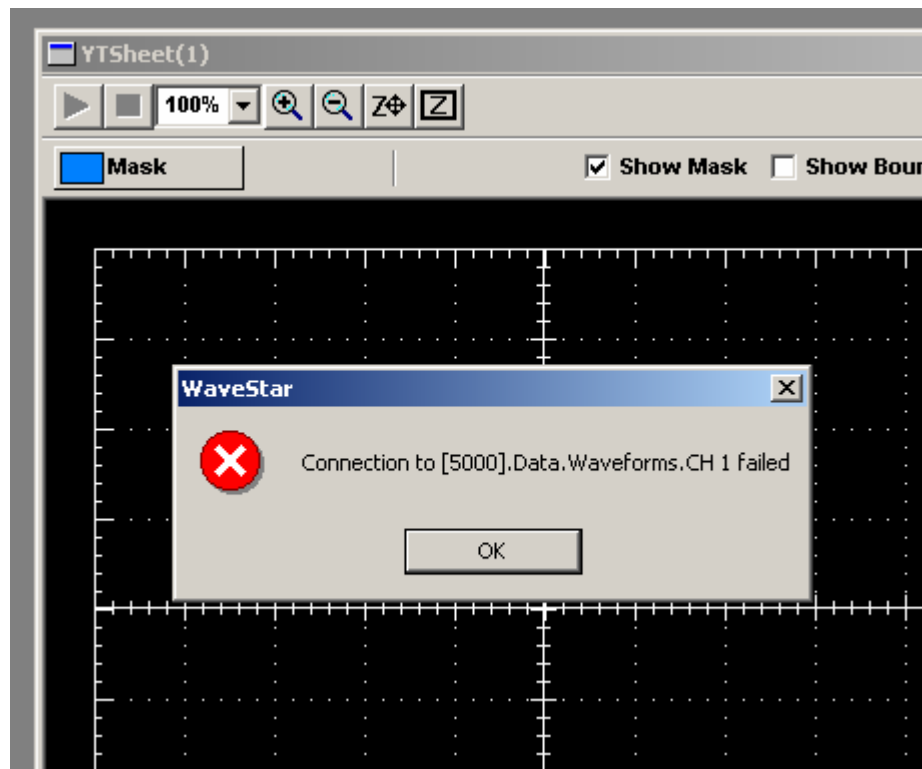


рис. 39

При попытке произвести измерения, осциллограф отказывается это делать. При попытке изменить размер изображения в режиме стоп-кадра (не важно или zoom и изменение масштаба по вертикали) – оно вообще навсегда исчезает с экрана и вернуть его обратно не возможно. Странно как-то - Tektronix нахватал 140000 (!!!) осциллограмм на канал, а что делать с ними не знает...

**Вопрос: Каким образом, несомненно полезный объем данных, полученный в режиме Fast Acquisition, возможно скинуть в ПК и произвести измерения параметров сигнала?**

**«По поводу теста с БПФ не могу сказать ничего...И где же данные амплитудных измерений?»**

Если оппонентам сказать нечего, пусть послушают.

Опять же, что такое быстрое преобразование Фурье (сокращенно БПФ) теория и с чем его едят подробно можно ознакомиться на <http://www.prist.ru/infos/articles/bpf.pdf>.

Подадим на вход осциллографа сигнал частотой 117МГц, уровнем 0dBm, АМ модуляция глубиной 70% сигналом частотой 1кГц.

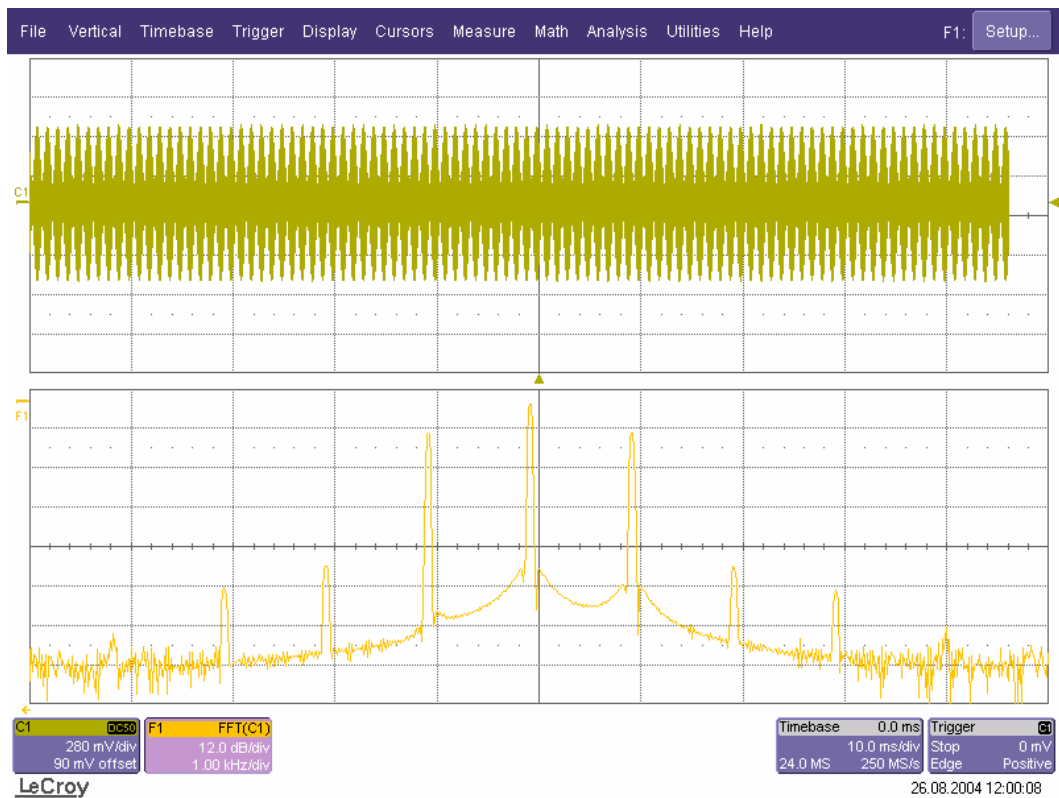


рис. 40 Общий вид спектра с входным сигналом

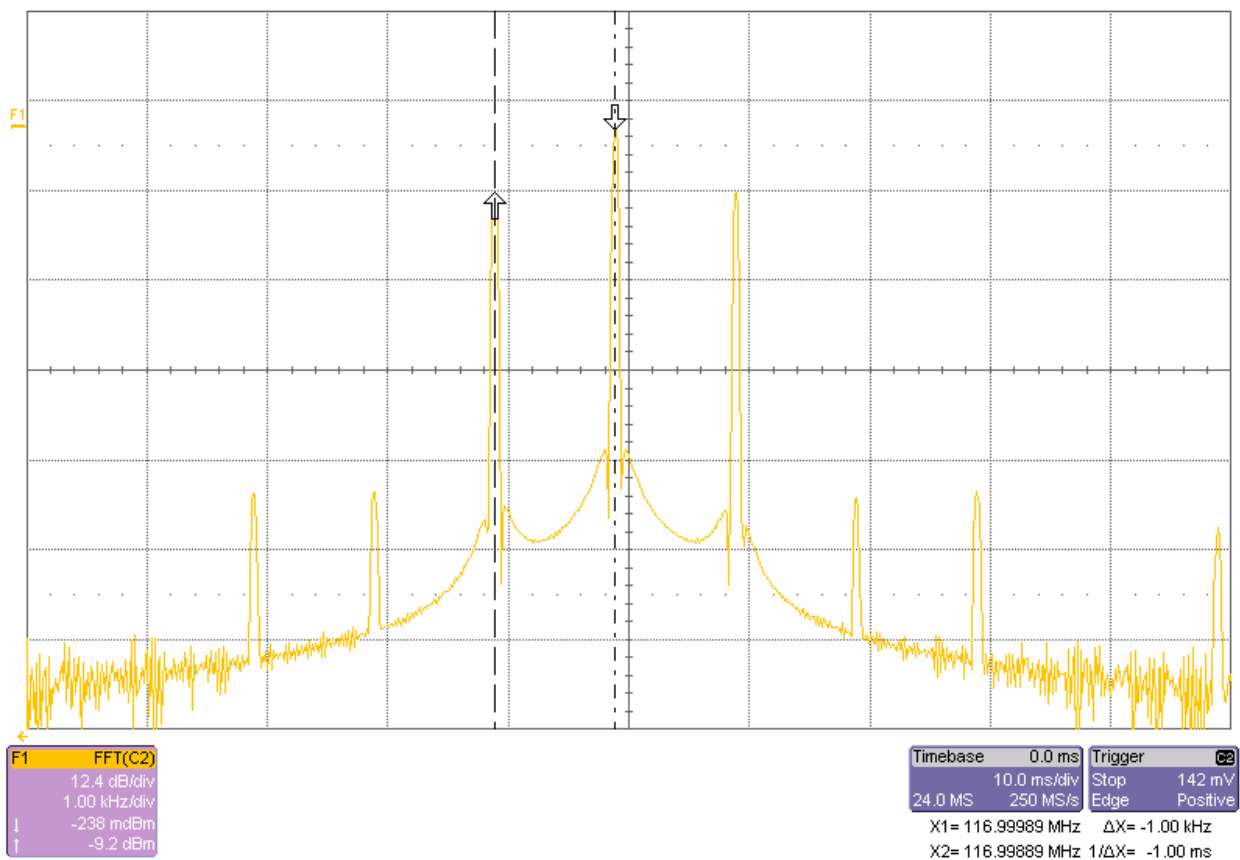


рис. 41 Спектрограмма АМ сигнала 117 МГц

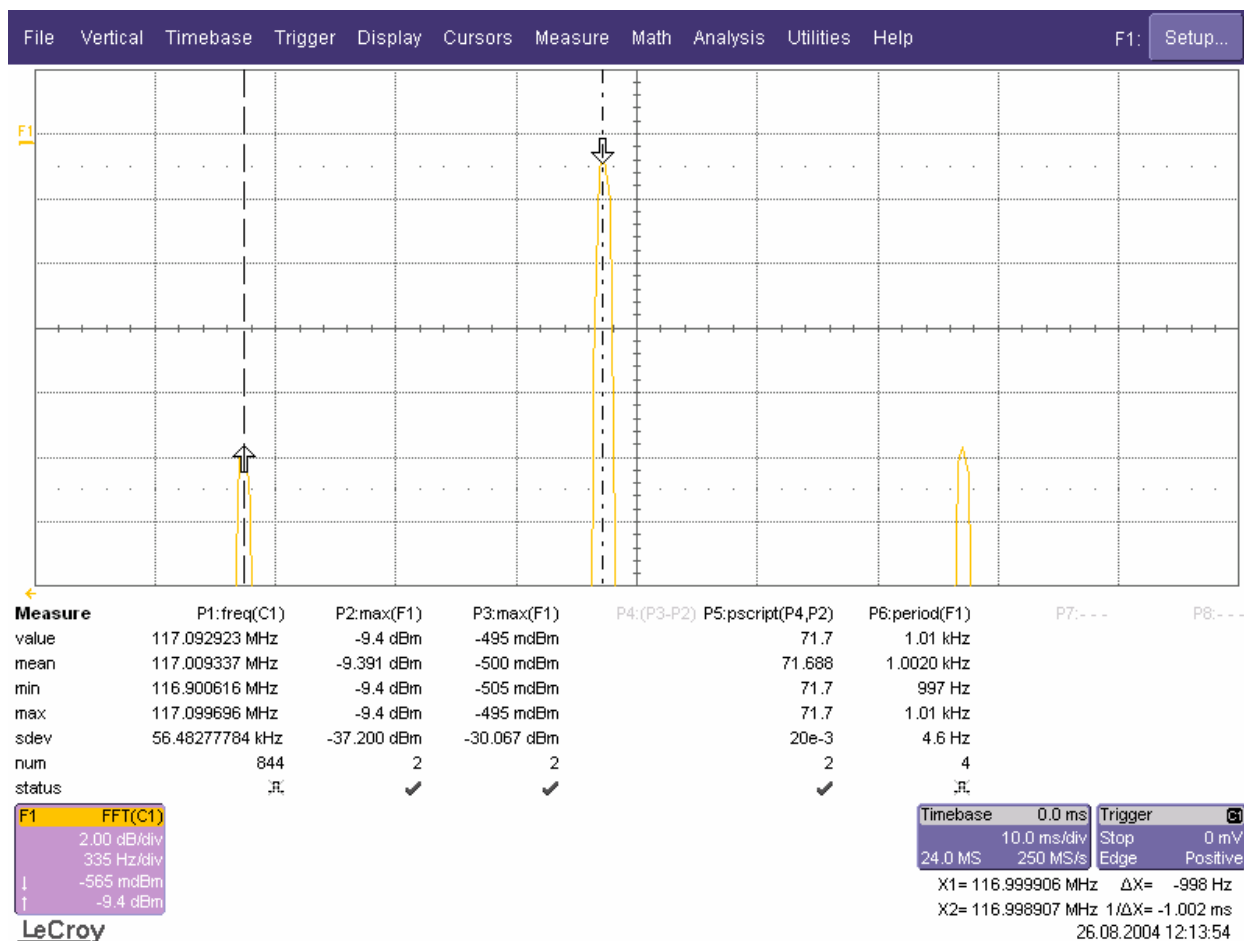
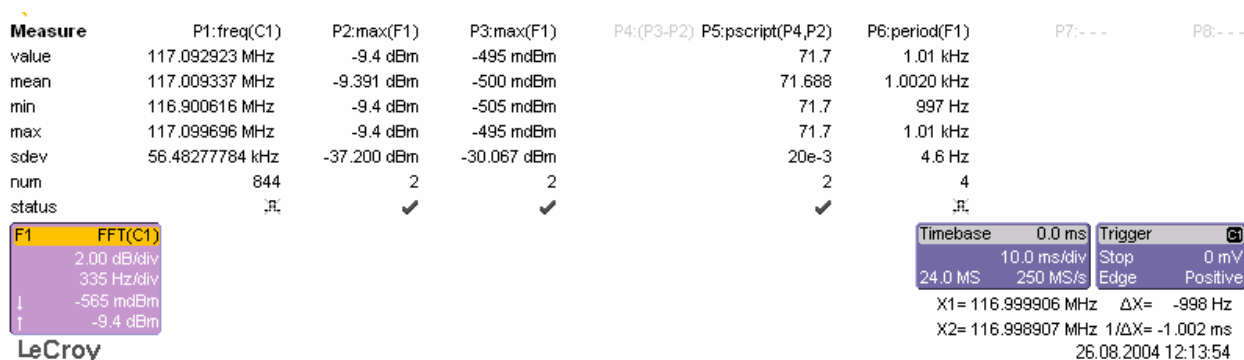


рис. 42 Режим автоматических и курсорных измерений



|                                   |                                        |                            |  |                          |                                           |
|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------|-------------------------------------------|
| Частота<br>входно<br>о<br>сигнала | Уровень<br>боково<br>о<br>лепестк<br>а | Уровен<br>ь<br>несуще<br>й |  | Глубина<br>модуляци<br>и | Частота<br>модулиру<br>ющего<br>колебания |
|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------|-------------------------------------------|

рис. 43 Расшифровка автоматических измерений

Подадим на вход осциллографа сигнал частотой 117МГц, уровнем 0dBm, АМ модуляция глубиной 70% сигналом частотой 50 Гц.

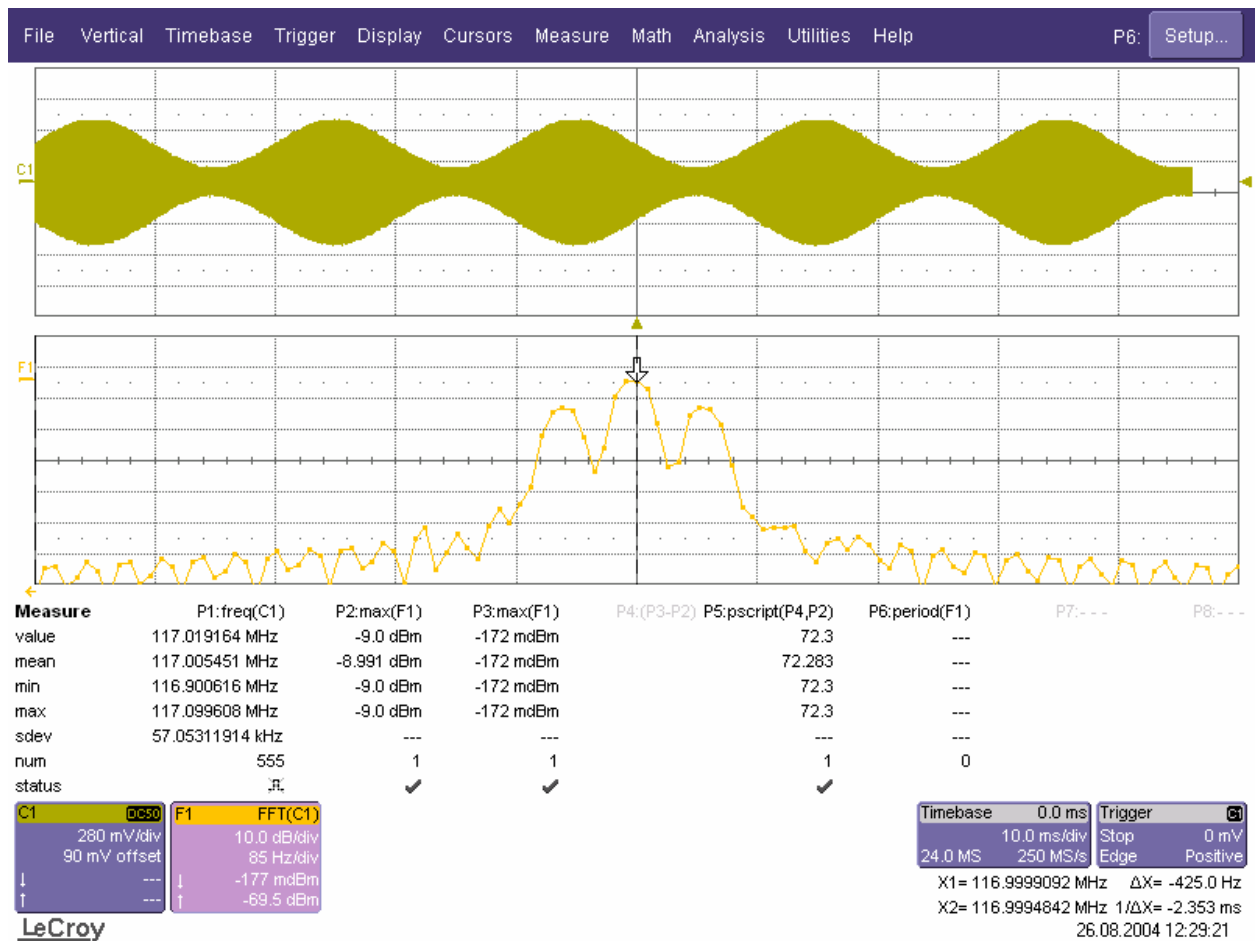


рис. 44 Режим автоматических и курсорных измерений

Как видно из спектрограмм и амплитудные, и частотные, и безразмерные измерения у LeCroy работают просто отлично! А измеренный коэффициент модуляции 72,3% при заданном 70% с большим запасом укладывается в погрешность установки самого генератора!

Подадим на вход осциллографа TDS-5104B сигнал частотой 117МГц, уровнем 0dBm, АМ модуляция глубиной 70% сигналом частотой 1 кГц. Результат представлен ниже:

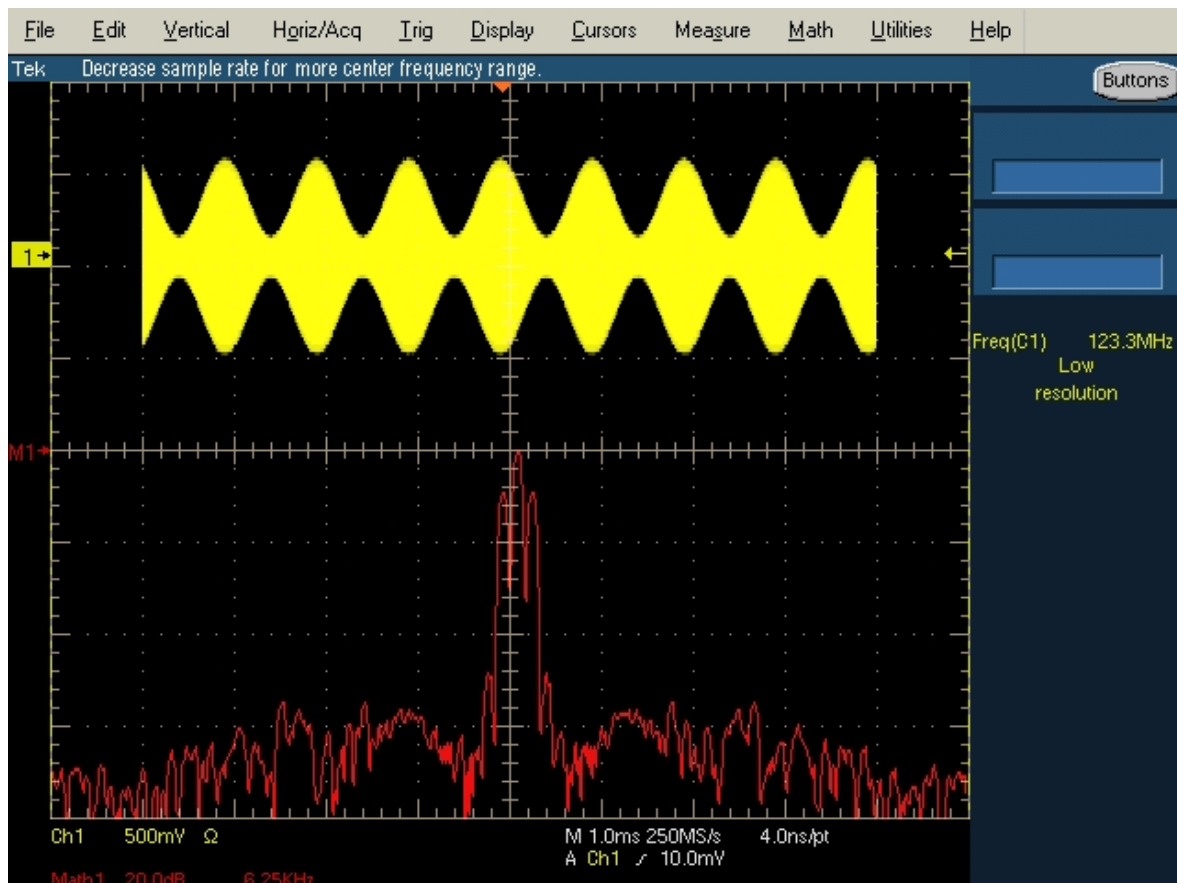


рис. 45 Спектрограмма на TDS-5104

Спектрограмму не возможно растянуть из-за того, что в нашем распоряжении был экземпляр с небольшим объемом внутренней памяти.

#### Вывод:

В осциллографах серии TDS-5000 спектр сигнала можно посмотреть, но провести автоматические измерения параметров не возможно, из-за того, что выделение окна для измерений возможно только одно на все измерения. Набор органов управления спектрограммой носит ограниченный характер, значение полосы обзора и центральной частоты имеют фиксированные значения.

Осциллографы серии TDS-3000 не могут показать спектральные составляющие, отличающиеся по частоте более чем в 10000 от основной частоты. Осциллографы серии TDS-1000-2000 не могут показать спектральные составляющие, отличающиеся по частоте более чем в 2500 раз от основной частоты. Картинки приводить не будем.

«[http://www.wavecrest.com/technical/appnotes/2001440A\\_oscilloscope.pdf](http://www.wavecrest.com/technical/appnotes/2001440A_oscilloscope.pdf) , где WM8600A показал наихудшее качество построенных диаграмм, показывая склонность к излишнему дребезгу (об этом ниже). При этом авторы этих тестов, в отличие от авторов рассматриваемых тестов дают не только изображение исходных сигналов на экранах осциллографов, но и вид исходных сигналов»

Коротко. В этих тестах ни Tektronix, ни LeCroy не показали себя лидером. Причина? Задачей «независимых» тестов Wavecrest состояла убедительно доказать преимущества собственных средств измерения перед другими производителями. Кажется, им удалось это сделать не только с собой, но еще и с Мастер-Тул....

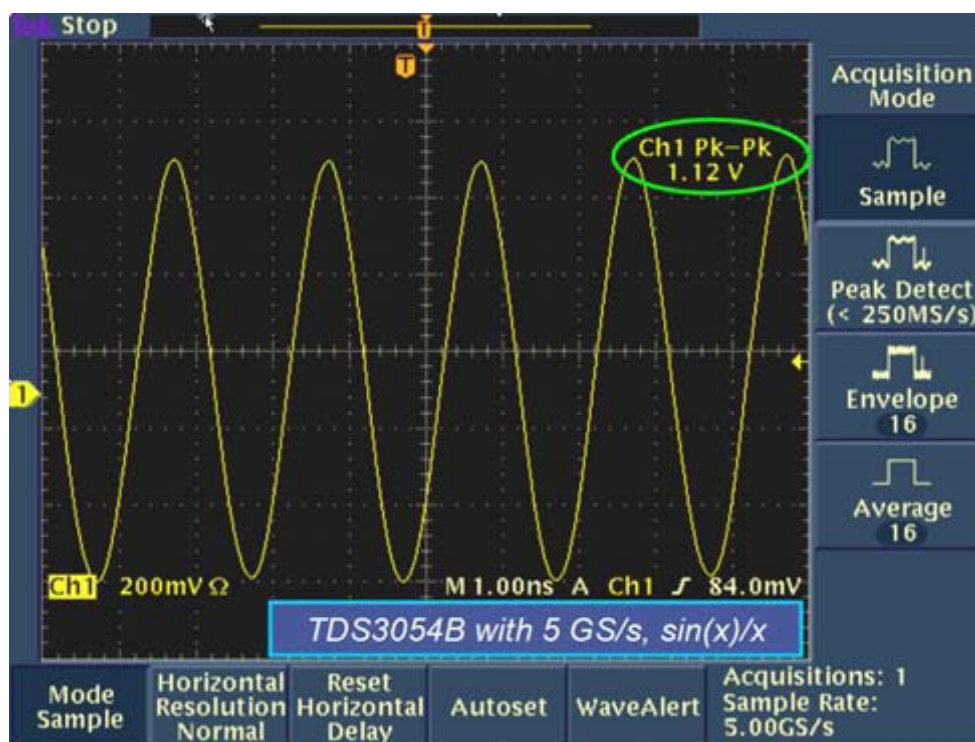
Кстати, выводы, что LeCroy показал самые худшие результаты, Wavecrest не делал, это заключение вынес Мастер-Тул.

Комментарии LeCroy по этому поводу и как «правильно» смотреть глазковые диаграммы для интересующихся на [http://www.lecroy.com/tm/Library/WhitePapers/PDF/WP\\_Ris\\_102203.pdf](http://www.lecroy.com/tm/Library/WhitePapers/PDF/WP_Ris_102203.pdf)

**«Зачастую сравнение ОСЦИЛЛОГРАФОВ ведется по еще более занятым параметрам – занимаемой на столе площади, наличию портов ввода/вывода на передней панели и, наконец, по цвету и размеру кнопок»**

Коль уже разговор зашел о цвете и размере, хотелось бы верить, что весомые аргументы оппонентов иссякли. Но, кажется, есть еще камень за пазухой припасенный на потом, как последний и «весомый аргумент».

Ниже приведены картинки, публикуемые Tektronix, и демонстрирующие явные преимущества осциллографа TDS-3054 перед WaveSurfer-454.



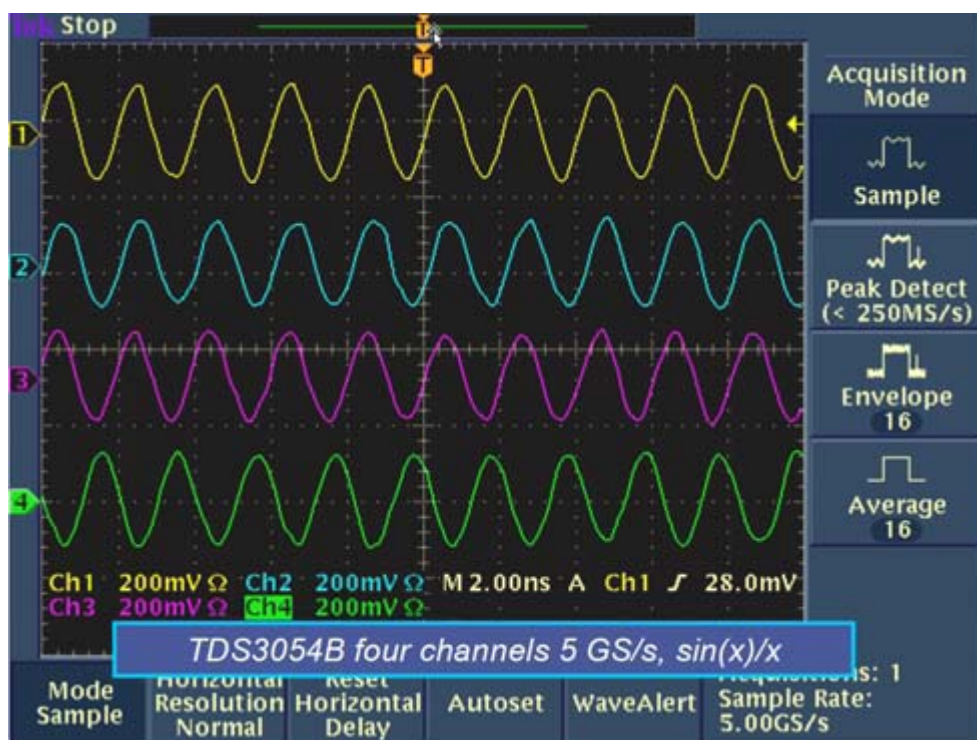




рис. 46 Сравнительные осциллограммы TDS-3034 и WS-454

Забывая про все, сконцентрируемся по полосе пропускания и частоте дискретизации. Оба осциллографа имеют по 4 канала с полосой пропускания 500 МГц, с той лишь разницей, что частота дискретизации у TDS-3054 составляет 5 ГГц в 4-х канальном режиме, а у WaveSurfer-454 1 ГГц в 4-х канальном режиме. Предлагается сравнить режим однократного пуска на частоте близкой к полосе пропускания. Мать природу не обманешь и товарища Котельникова, с его теоремой, тоже. При включенной линейной интерполяции (о наличии интерполяции  $\sin x/x$  команда Tektronix в осциллографах WaveSurfer не знает), сигнала частотой 500 МГц и частоты дискретизации 1 ГГц, WaveSurfer-454 добросовестно рисует треугольники. «Бедняга» – ну хоть частота сигнала совпадает! В это же время TDS-3054 с частотой дискретизации 5 ГГц и интерполяцией  $\sin x/x$  (как она работает у Tektronix, уже было показано выше) рисует чистую синусоиду! Радость и ликование Tektronix не имеет предела! Как же тут не вспомнить народную мудрость, что «осциллограф предназначен для правильного отображения формы электрического сигнала».

Возьмем другие предметы для эксперимента, осциллографа одного класса, но другой «категории» LeCroy WR-6100 и Tektronix TDS 5104B. Оба осциллографа имеют по 4 канала с полосой пропускания 1 ГГц, с той лишь разницей, что частота дискретизации LeCroy WR-6100 составляет 5 ГГц в 4-х канальном режиме, а у Tektronix TDS 5104B 1,25 ГГц в 4-х канальном режиме. Сравним тот же режим однократного пуска на частоте равной полосе пропускания. Не будем юродствовать - включим на обоих осциллографах интерполяцию  $\sin x/x$ . Итак, частота 1 ГГц, уровень 0 dBm подаем одновременно на все четыре канала.

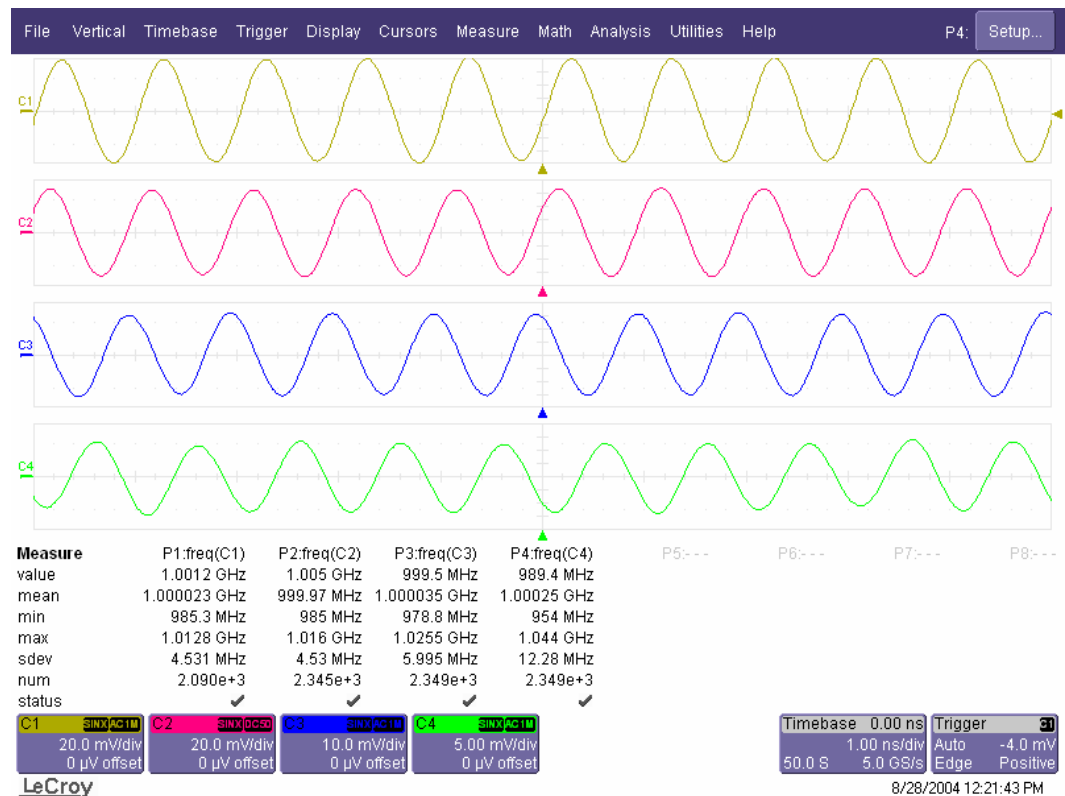
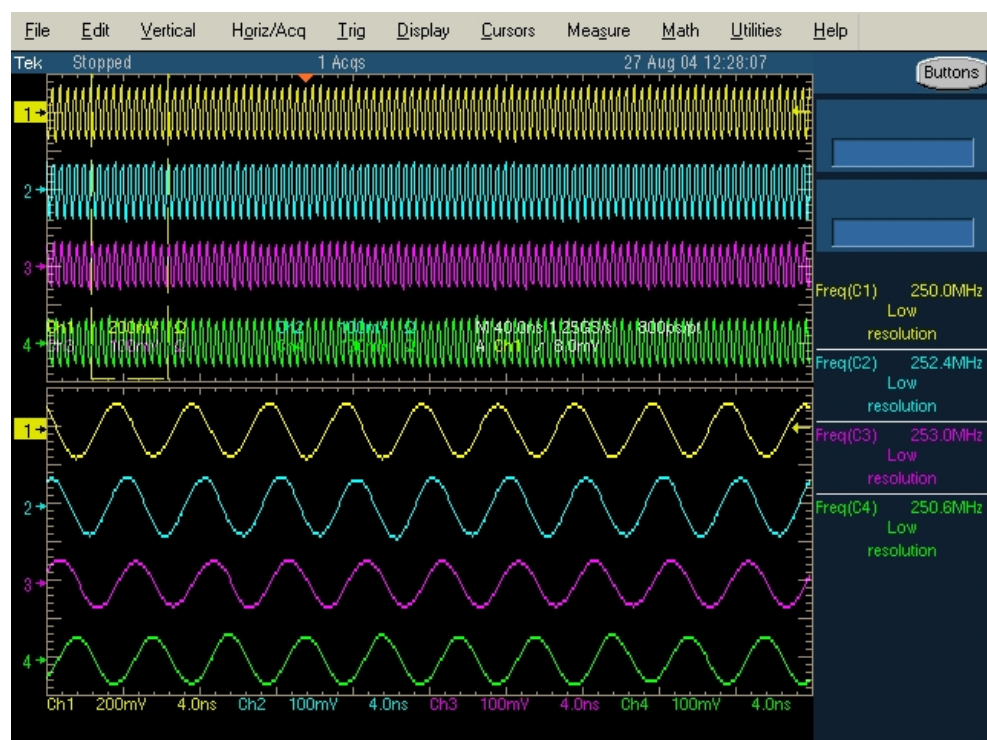


рис. 47 LeCroy WR-6100

LeCroy WR-6100 – без комментариев – форма и частота сигнала на экране по всем 4 каналам 1ГГц!

Tektronix TDS 5104B – свалился в стробоскопический эффект, частота на экране – порядка 250 МГц – в четыре раза меньше частоты входного сигнала!!!



В предыдущем эксперименте WaveSurfer-454 выдержал соотношение между частотой сигнала и частотой дискретизации в 2 раза, при использовании интерполяции  $\sin^2 x$  или при экспорте полученных данных во внешнее ПО, например MATLAB, возможно восстановление формы сигнала согласно условий теоремы Котельникова.

В последнем эксперименте Tektronix TDS-5104B нарушил условия теоремы Котельникова. Как ему помочь в восстановлении формы сигнала? Как помочь людям, которые смотрят на экран и думают, что это правда и не имеют возможности и желания изучать технические особенности осциллографов?

**Выводы:** 1. Не надо наговаривать на других коли сам кривой.  
2. Не все осциллографы и не во всех режимах «предназначены для правильного отображения формы электрического сигнала».

## **Выводы:**

1. Tektronix делает неплохие цифровые осциллографы, рассчитанные на незаурядного потребителя, глубоко уверенного только в том, что «осциллограф предназначен для правильного отображения формы электрического сигнала» и не обремененного мыслью, какие возможности в осциллографах дают новые технологии. В основном, целью прикладных решений ЦЗО Tektronix, является только просмотр сигналов на экране осциллографа.

2. При возникновении более сложных задач по:

- Сбору данных,
  - Отображению сигнала,
  - Анализу полученных данных,
  - Контролю по шаблонам,
  - Измерению параметров сигнала с выводом статистических данных,
  - Построению графов и гистограмм,
  - Использованию математического аппарата,
  - Анализу и измерению спектра сигнала,
  - Сохранения полученных и обработанных данных в файл
- ЦЗО Tektronix проигрывают по возможностям ЦЗО LeCroy (некоторые перечисленные функции у Tektronix отсутствуют вообще).

**Информация для справки :** Мы поздравляем всех инженеров компании Tektronix с достижением нового, гигантского размера внутренней памяти 32M и сообщаем, что максимальный размер внутренней памяти осциллографов LeCroy составляет 100M...