SBL-OPA-TESTER
Прибор для для измерения параметров операционных усилителей

Описание

SBL-OPA-TESTER - Приставка для тестирования работоспособности операционных усилителей.

Измеряемые и оцениваемые параметры:

- Входное напряжение смещения (Initial offset);
- Размах выходного напряжения (Output voltage swing);
- Потребляемый ток (Consumption Current);
- Ток смещения (Input offset current);
- Скорость нарастания напряжения (Slew rate);
- Работоспособность ОУ на сигнале 1кГц (меандр).
- Уровень шумов (результат не достигнут, т.к. сильно шумит земля прибора и необходимо более сильное усиление).

Измерение параметров производится при двух напряжениях питания: +/- 2.5в и +/-5в, что позволяет охватить максимально возможный спектр ОУ. Напряжение питания должно устанавливаться явно перед проведением измерений соответствующей кнопкой.

На плате установлено три панельки или переходника для проверки ОУ: с одним кнотком ОУ в корпусе 8pin, с двумя книтами ОУ в корпусе 8pin и с 4 мя ОУ в корпусе 14pin.

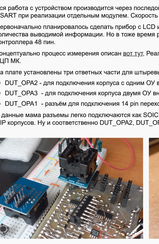
При измерении входных токов уровень измеренных значений колебается в районе 0.2 - 1.0 na, т.е. на уровне утечки ключа dg211. При измерении напряжений уровень нестабильности измерений в районе 1-2 милливольта. При измерении входного смещения нестабильность соота. в 100 раз меньше, т.к. усиление 100. Все остальные производные цифры соответственно не могут быть лучше.

Конструкция любительская, многие вещи реализовывались в качестве эксперимента, для измерения или оценки параметров ОУ с наименьшими затратами поэтому представляется как есть.

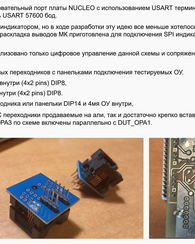
Схема, прошивки, User manual

Полная документация доступна на Google Disk

Пока ещё Google disk у нас не отобразим :)



Измерительная часть



Управление питанием

Проект платы

Проект KiCad с платой для LUT и схемой

Ссылка для скачивания

логин guest, пароль пустой.

Конструкция

Конструктивно данная версия прибора выполнена в качестве добавочного, аналогового модуля подключаемого к плате Nucleo с контроллером серии STM32F103RB, но конструктивно расклада портов выполнена для установки контроллера STM32F103C4 48 pin. На данный момент занято много меньше 64кБт памяти, но если будет доделана версия с дисплеем лучше иметь запас. На плате после обновления отключен светодиод GREEN с вывода PA5, уйдяя переменная SB21, т.к. часто мне приходится задействовать DAC из контроллера, а его вывод выходит как раз на PA5.

Вся работа с устройством производится через послеовательный порт платы NUCLEO с использованием USART терминала или переходника USB --> USART при реализации отдельным модулем. Скорость USART 57600 бод.

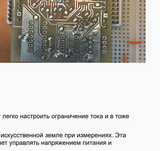
Первоначально планировалось сделать прибор с LCD индикатором, но в ходе разработки эту идею все меньше хотелось реализовывать в силу большого количества выводящей информации. Но в тоже время расклада выводов МК приготовлена для подключения SPI индикатора и кнопок при использовании контроллера 48 пин.

Концептуально процесс измерения описан вот тут. Реализовано только цифровое управление данной схемы и сопряжение измеряемых напряжений с АЦП МК.

На плате установлены три стеклянных стаканчика для штырьевых переходников с панельками подключения тестируемых ОУ.

- DUT_OPA2 - для подключения корпуса с одним ОУ внутри (4x2 pins) DIP8,
- DUT_OPA3 - для подключения корпуса двумя ОУ внутри (4x2 pins) DIP8.
- DUT_OPA1 - разъём для подключения 14 pin переходника или панельки DIP14 и 4мя ОУ внутри,

В данные мама разъемы легко подключаются как SOIC переходники продаваемые на али, так и достаточно крепко вставляются цанговые панельки для DIP корпусов. Ну и соответственно DUT_OPA2, DUT_OPA3 по схеме включены параллельно с DUT_OPA1.



Питание

Питание устройства сделано от двух источников:

- цифровая часть запитана от +3.3V платы Nucleo

- аналоговая часть имеет изолированное питание от лабораторного источника питания +12в, что позволяет легко настроить ограничение тока и в тоже время подключить МК к искусственно созданной средней точке устройства.

Такое сочетание позволило упростить конструкцию и в тоже время получить небольшой уровень шумов на искусственной земле при измерениях. Эта схема питания была выбрана для тестирования концепции и в тоже время она не слишком сложно позволяет управлять напряжением питания и включать/выключать питание на тестируемом ОУ.

Стабилизатор реализован на ICS LM1117-ADJ.

На транзисторах Q1, Q3 реализовано отключение питания тестируемого ОУ, на Q2, Q4 реализовано переключение уровня питания ОУ. Если плата не подключена к МК, то питание выключено и уровень установлен на минимум.

На IC1B реализована виртуальная земля, которая делит аналоговое питание пополам. Для минимизации шумов. C12 необходимо взять тантальовым, а C4 керамическим.

Все мультиплексоры имеют постоянно включенное питание +12в т.к. отключение напряжения питания приводит к перетеканию токов через ключи управления. Но т.к. модуль сделан как прототипа и аналоговое питание все таки может быть иногда не подключено, то для того что бы исключить опасные токи установлены шотки диоды D1 и D2. Данные диоды обеспечивают минимальное питание мультиплексоров и минимальное напряжение на средней точке питания при отсутствии аналогового питания +12в.

Измерительная часть

Каждый книнт тестируемого ОУ реализовано в качестве неинвертируемого усилителя с коэффициентом усиления 101. Усиление устанавливается (R16, R17, R7, R9, R5, R6, R36, R37). Всего реализовано подключение ОУ с 4мя книтами на борту (DUT_OPA1k – DUT_OPA1D).

Для всех книтов реализовано подключение сигнала TST_SIG30 и TST_SIG5 что дает на входах ОУ примерно (20мв и 5мв) соответственно. Это позволяет проверить работоспособность каждого книта и замерить напряжение смещения. Для первого книта дополнительно реализовано подключение сигналов TST_MIN, TST_MAX для измерения размаха напряжения на выходе и два клоча с сигналами IN1P_EN, IN1M_EN для измерения входных токов. Все остальные параметры измеряются только для первого книта, а для остальных только оцениваются работоспособность. Т.к. входные токи для ОУ с управлением по току могут быть весьма значительные, то резисторы R8(10к), R15(1к) установлены разные. Т.е. для малых токов точное измерения на входе IN1P, для больших токов на входе IN1M.

Далее сигналы с измеряемых точек собираются в одну точку мультиплексором IC4, все точки измерения понятны из схемы и не требуют пояснений. Ток потребления измеряется как разность напряжений на резисторе 10 Ом R34.

Калибровка перед каждым циклом измерения производится по точкам GNDA и +3.3V, поэтому чем у вас точнее будет установлено напряжение +3.3V тем точнее будут измеренные параметры.

На ОУ 1Ca реализован каскад приведения напряжений из диапазона +/- 10V к диапазону 0-3.3V, которые уже может замерять АЦП.

Математика

Все измерения производятся непрерывным накоплением 256 * 1024 отсчетов АЦП через DMA с обработкой в реалтам или непрерывным накоплением данных без потери точности, что позволяет реализовать максимальную точность для АЦП STM32.

Скорость нарастания измеряется как измерение СКО (средне квадратичного отклонения) сигнала на выходе тестируемого книта. Сравнивается значения СКО сигнала на тестовой частоте с СКО сигнала на частоте 1кГц. И если уменьшение более чем в 1.7 раз то производится расчет значения slew rate. Частота на которой происходит спад ищется методом последовательного приближения. Все ОУ, которые будут иметь данный спад СКО, будут иметь одинаковую форму сигнала (почти треугольник) что позволяет найти скорость нарастания. Измерение скорости нарастания реализовано для малосигнального режима, при котором входной каскад не входится в насыщение, т.е мы имеем вполна нормальный сигнал. Это дает реальные цифры скорости нарастания в несколько раз ниже (5-10раз, но все эти цифры соответствуют значениям, которые могут быть проверены графически с помощь осциллографа. Текущая реализация оценивает скорость нарастания до 6V/us, что будет соотв реальной скорости при единичном усилении и сигнале на входе более 1V как 30-60V/us.

Работоспособность ОУ проверяется подачей меандра 20мв 1 кГц и последующей оценкой СКО и средного выходного сигнала для каждого книта. Для правильного меандра на выходе значения СКО и его среднее должны быть примерно равны. При текущих параметрах резисторов и усилении для частоты 1кГц ожидаются значения 1.1 вольта с ошибкой не более 10%.

Исходники

Опубликованы на GitFic sbl-opa-tester - импортозамещение :)

Скоро и комментарии в коде сделаю все на руском, пусвай подавится проклятый долгоносик.

Приемы работы с прибором

Между всеми операциями на панельках для тестируемого ОУ напряжение питания выключено и не превышает 0.5 в что позволяет без проблем производить замену тестируемых ОУ.

Скорость USART 57600 бод. После ввода каждой команды необходимо нажать Enter или отправить CR LF символы в USART.

Перед началом каждого измерения производится ожидание установки состояния после включения питания и производится калибровка прибора в течение нескольких секунд. Время ожидания зависит от запускаемой операции, наиболее длительные задержки выполняются при замерах напряжения смещения и входных токов, более 2х секунд.

Перед началом тестирования необходимо правильно установить напряжения питания тестируемого ОУ и выполнить команду <op pw1> или <op pw1> hv, подробнее смотри список команд и инструкцию пользователя. По умолчанию включается режим питания +/- 2.5 вольта. После выполнения команды <op pw1> и установки режима в течение 2 секунд производится измерение напряжения питания ОУ и его вывод на консоль. Режим питания ОУ не изменяется до перезагрузки устройства или до ввода команды нового режима питания.

Базово для тестирования основной группы параметров ОУ и работоспособности отдельных книтов необходимо выполнить команду <op base>. Многие команды можно выполнить по отдельности, все команды описаны в инструкции пользователя.

Команды можно вводить группами, в буфере имеет очередь на 10 команд, но обычно команды <op base> более чем достаточно. В случае прерывания таких команд как <op stat> <op noise> <op sr> нажатием клавиши backspace весь буфер команд очищается.

Примеры тестирования ОУ

```
op auto
operation - auto started
==============
VCC:                +/- 4.867 V
Consumption:        - 8.227 mA
Output:        VOC - 0.399 V
Output:        VSE - 4.399 V
Input bias DUT1:    0.377 mA
Input bias DUT2:    0.000 mA
Input bias DUT3:    0.000 mA
Input bias DUT4:    0.000 mA
Input current P:   40.371 nA
Input current M:  -44.945 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.112 V:   mean: 1.164 V
Signal DUT2  OK std:  1.087 V:   mean: 1.109 V
Signal DUT3  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.000 V
Signal DUT4  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.001 V
```

RC4558

```
op auto
operation - auto started
==============
VCC:                +/- 4.913 V
Consumption:        - 3.652 mA
Output:        VOC - 0.872 V
Output:        VSE - 4.041 V
Input bias DUT1:    0.792 mA
Input bias DUT2:    0.341 mA
Input bias DUT3:    0.000 mA
Input bias DUT4:    0.000 mA
Input current P:   -0.107 nA
Input current M:    0.146 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.109 V:   mean: 1.032 V
Signal DUT2  OK std:  1.095 V:   mean: 1.147 V
Signal DUT3  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.000 V
Signal DUT4  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.001 V
```

LM358

```
op auto
operation - auto started
==============
VCC:                +/- 4.815 V
Consumption:        - 13.450 mA
Output:        VOC - 1.274 V
Output:        VSE - 4.128 V
Input bias DUT1:    0.884 mA
Input bias DUT2:    0.884 mA
Input bias DUT3:    0.000 mA
Input bias DUT4:    0.000 mA
Input current P:   3411.168 nA
Input current M:  -1582.090 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.015 V:   mean: 1.127 V
Signal DUT2  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.000 V
Signal DUT3  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.000 V
Signal DUT4  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.001 V
```

LMH6702

```
op auto
operation - auto started
==============
VCC:                +/- 4.913 V
Consumption:        - 3.652 mA
Output:        VOC - 0.872 V
Output:        VSE - 4.041 V
Input bias DUT1:    0.792 mA
Input bias DUT2:    0.341 mA
Input bias DUT3:    0.000 mA
Input bias DUT4:    0.000 mA
Input current P:   -0.107 nA
Input current M:    0.146 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.109 V:   mean: 1.032 V
Signal DUT2  OK std:  1.095 V:   mean: 1.147 V
Signal DUT3  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.000 V
Signal DUT4  ERR std: 0.000 V:   mean: 0.001 V
```

TL072

```
operation - op started
Signal mean:1.106e+01 mV %    std: 1.195e+02 mV %    f:11 MHz
Signal mean:1.106e+01 mV %    std: 1.195e+02 mV %    f:1100 MHz
Signal mean:1.115e+01 mV %    std: 9.815e+02 mV %    f:10 MHz
Signal mean:1.115e+01 mV %    std: 9.815e+02 mV %    f:1000 MHz
Signal mean:1.115e+01 mV %    std: 9.815e+02 mV %    f:100 MHz
Signal mean:1.115e+01 mV %    std: 9.815e+02 mV %    f:1100 MHz
Signal mean:1.116e+01 mV %    std: 6.984e+02 mV %    f:10 MHz
Signal mean:1.116e+01 mV %    std: 6.984e+02 mV %    f:1000 MHz
Signal mean:1.116e+01 mV %    std: 6.984e+02 mV %    f:100 MHz
Signal mean:1.116e+01 mV %    std: 6.984e+02 mV %    f:1100 MHz
                                                                    MHz
Slew rate:        1.5e+00 V/us/MHz
```

Slew rate MCP6022

Оценка шумовых характеристик

```
op stat 20
operation - stat 2 started
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.186e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.185e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.191e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.191e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.184e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.184e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.197e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.198e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.192e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.193e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.197e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.197e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.192e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.189e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.187e+03 uV%
Stat mean: 4.862e+00 uV %          std:  2.187e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.202e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.202e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.197e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.197e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.190e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.190e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.195e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.198e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.191e+03 uV%
Stat mean: 4.863e+00 uV %          std:  2.208e+03 uV%
```

Измерение среднего значения питания ОУ и его СКО. Один замер 370мс.

```
op stat 0uV
operation - stat 0 started
Stat mean: 2.432e+01 uV %          std:  2.158e+03 uV%
Stat mean: 1.670e+01 uV %          std:  2.162e+03 uV%
Stat mean: 1.508e+02 uV %          std:  2.153e+03 uV%
Stat mean: 1.216e+02 uV %          std:  2.155e+03 uV%
Stat mean: 1.216e+02 uV %          std:  2.164e+03 uV%
Stat mean: -1.431e+00 uV %         std:  2.155e+03 uV%
Stat mean: 1.279e+01 uV %          std:  2.157e+03 uV%
Stat mean: 1.254e+02 uV %          std:  2.157e+03 uV%
Stat mean: -1.248e+01 uV %         std:  2.162e+03 uV%
Stat mean: -9.823e+01 uV %         std:  2.163e+03 uV%
Stat mean: 1.621e+01 uV %          std:  2.157e+03 uV%
Stat mean: -4.864e+01 uV %         std:  2.161e+03 uV%
Stat mean: -9.251e+01 uV %         std:  2.162e+03 uV%
Stat mean: -1.011e+02 uV %         std:  2.167e+03 uV%
```

Измерение аналоговой земли, среднее и СКО.. Один замер 370мс

```
op base
operation - base started
==============
VCC:                +/- 4.862 V
Consumption:        - 8.835 mA
Output: VOC - 0.864 V
Output MIN:   VSE - 4.613 V
Output:       VSE - 4.537 V
Input bias DUT1:    0.472 mA
Input bias DUT2:    -1.492 mA
Input bias DUT4:    -0.383 mA
Input current P:    0.547 nA
Input current M:   13.351 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.106 V:   mean: 0.965 V
Signal DUT2  OK std:  1.093 V:   mean: 1.155 V
Signal DUT3  OK std:  1.084 V:   mean: 0.906 V
Signal DUT4  OK std:  1.077 V:   mean: 1.053 V
==============
VCC:                +/- 4.862 V
Consumption:        - 8.813 mA
Output: VOC - 0.859 V
Output MIN:   VSE - 1.608 V
Output:       VSE - 1.543 V
Input bias DUT2:    0.471 mA
Input bias DUT3:    -1.878 mA
Input bias DUT4:    -0.381 mA
Input current P:    0.872 nA
Input current M:   10.604 nA
                                    V
Signal DUT1  OK std:  1.105 V:   mean: 0.965 V
Signal DUT2  OK std:  1.092 V:   mean: 1.155 V
Signal DUT3  OK std:  1.083 V:   mean: 0.907 V
Signal DUT4  OK std:  1.077 V:   mean: 1.053 V
```

Разброс показаний при двух последовательных измерениях TL074

Измерение среднего значения питания ОУ и его СКО.. Один замер 370мс

Настройка

Для первоначального запуска и настройки реализовано несколько команд отладки в группе "debug", которые позволяют протестировать аналоговую часть до установки основных микросхем. См. Инструкцию пользователя.

Литература, ссылки

1. Тема с описанием конструкции без МК и объяснением теории, http://www.diod.club
2. Инструкция по эксплуатации прибора OPA-SBL-TESTER
3. Форум для обсуждения конструкции, https://www.radiokot.ru/forum
4. Форум на cxem.net.