

# Измерения АЧХ (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) контура управления электропитанием

С помощью осциллографа Rohde & Schwarz



## Измерительная задача

Для обеспечения устойчивой работы стабилизаторов напряжения и импульсных источников питания необходимо измерять характеристики контура управления. Регулятор напряжения с оптимальным уровнем компенсации позволяет стабилизировать выходное напряжение и снижает влияние изменений нагрузки и колебаний напряжения питания. Качество этого контура управления определяет стабильность и динамическую характеристику всего преобразователя постоянного тока.

## Решение от компании Rohde & Schwarz

Опция анализа частотных характеристик (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) R&S®RTx-K36 позволяет быстро и легко выполнять анализ низкочастотных АЧХ на осциллографе. С ее помощью определяется АЧХ множества электронных устройств, в частности пассивных фильтров и контуров усиления. Для импульсных источников питания измеряются АЧХ контура управления и коэффициент подавления нестабильности

питания. Опция анализа частотных характеристик (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) R&S®RTx-K36 использует генератор сигналов, встроенный в осциллограф, для генерации сигналов входного воздействия в диапазоне от 10 Гц до 25 МГц. Измеряя отношение уровня входного воздействия и выходной сигнал с ИУ на каждой тестовой частоте, осциллограф составляет график зависимости от частоты для коэффициента усиления в логарифмическом масштабе и для фазы в линейном.

Опция анализа частотных характеристик (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) R&S®RTx-K36 дает возможность быстро определять интервалы допуска по коэффициенту усиления и фазе для импульсных источников питания и линейных регуляторов. Эти измерения помогают определять стабильность контура управления.

Опция анализа частотных характеристик (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) R&S®RTx-K36 обеспечивает отображение характеристики системы при изменениях условий работы, например напряжения питания или тока нагрузки.

## Измерительная установка

Контур управления электропитанием сравнивают опорное напряжение ( $V_{оп}$ ) с напряжением обратной связи ( $V_{ос}$ ) и обеспечивают отрицательную обратную связь для стабилизации выходного напряжения.

Для проверки характеристики контура управления требуется подача (инъекция) сигнала ошибки в определенном диапазоне частот в канал обратной связи контура управления. Для подачи сигнала ошибки в контур обратной связи должен быть вставлен небольшой резистор. Резистор для подачи сигнала показан на рисунке на следующей странице; его сопротивление — 5 Ом, небольшое по сравнению с последовательно включенными сопротивлениями R1 и R2. Некоторые пользователи выбирают подключение этого резистора малого сопротивления ( $R_{инж}$ ) на постоянной основе для целей тестирования. Вольтодобавочный трансформатор, такой как J2100A компании Picotest, выделяет сигнал искажений переменного тока и полностью устраняет смещение по постоянному току.

## Точка подачи сигнала и точка измерения

Для измерения коэффициента усиления в контуре обратной связи его необходимо разорвать в соответствующей точке. В этой точке подается сигнал искажения. Сигнал искажения будет распространяться по контуру системы. В зависимости от коэффициента усиления в контуре подаваемый сигнал искажения будет усиливаться или ослабляться и сдвигаться по фазе. В случае опции R&S®RTx-K36 генератор осциллографа формирует сигнал искажения. Осциллограф измеряет передаточную функцию контура.

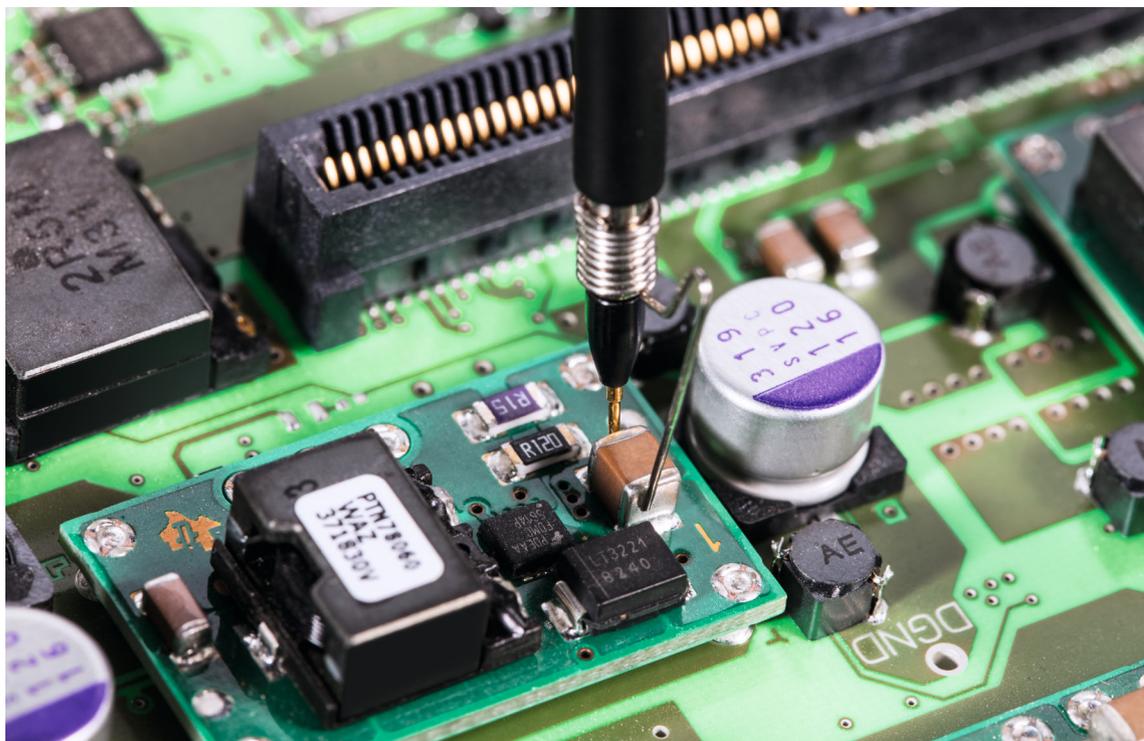
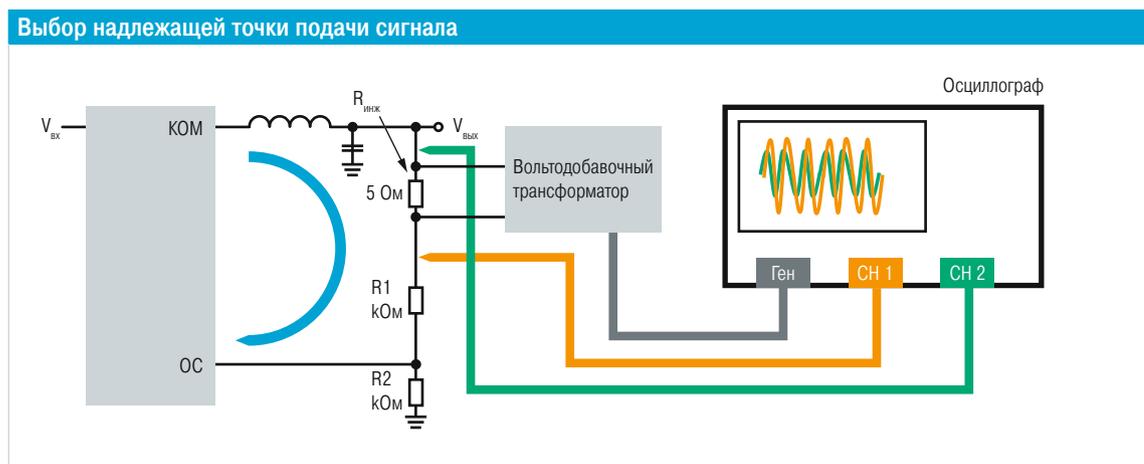
Чтобы измеряемый коэффициент усиления в контуре был равен реальному значению, выберите соответствующую точку:

- Найдите точку, в которой система ограничена одним единственным каналом, чтобы не было параллельных потоков сигналов.
- Сопротивление в направлении обхода контура должно значительно превышать обратное сопротивление в этой точке. Обратное сопротивление равно выходному сопротивлению преобразователя, которое составляет очень небольшое значение в диапазоне нескольких мОм. Сопротивление в направлении обхода контура формируется компенсатором и делителем напряжения и находится в диапазоне нескольких кОм.

Точность определения характеристики контура управления зависит от качества измерения. Размах напряжений  $V_{вх}$  и  $V_{вых}$  может быть очень небольшим на некоторых тестовых частотах. Эти значения могут скра-

дываться собственным шумом осциллографа и/или коммутационными помехами ИУ. Именно поэтому увеличение отношения сигнал/шум в рамках измерения существенно улучшает динамический диапазон измерения АЧХ. Большинство осциллографов обычно поставляется с пассивными пробниками с коэффициентом деления 10:1 и повышенным уровнем шума. Использование малозумящих пассивных пробников с коэффициентом деления 1:1 снижает шум измерения и улучшает отношение сигнал/шум. Для этого компания Rohde & Schwarz рекомендует использовать пассивные пробники R&S®RT-ZP1X с коэффициентом деления 1:1 и полосой пропускания 38 МГц.

Уменьшение длины заземляющего провода пробника минимизирует индуктивность контура заземления. Стандартный заземляющий провод пробника иногда может функционировать в качестве антенны и усиливать нежелательные коммутационные помехи. Установите штырь



Использование заземляющей пружины дает возможность подобрать наилучшее отношение сигнал/шум для измерения коэффициента подавления нестабильности питания

заземления рядом с контрольными точками  $V_{вк}$  и  $V_{внк}$ . Для сокращения длины заземляющего провода используйте заземляющую пружину пробника R&S®RT-ZP1X. Это обеспечивает заземление с низким уровнем шума для проведения измерения.

### Настройка устройства

Подключите осциллограф к испытуемому контуру и запустите приложение:

- Установите начальную и конечную частоты между 10 Гц и 25 МГц и определите уровень выходного сигнала генератора.
- Задайте количество точек на декаду для улучшения и изменения разрешения собираемых данных. Осциллограф поддерживает до 500 точек на декаду.
- Определите профиль амплитуды выходного сигнала генератора (вплоть до 16 ступеней) для подавления характерных помех испытываемого контура.
- Нажмите Run (Запуск) для запуска измерения. Результаты измерения отображаются на графике зависимости коэффициента усиления/фазы от частоты. Установите маркеры на интересующую точку.

### Результаты измерений

Кривые на ЛАФЧХ или диаграммах Бode отображают передаточную функцию контура и помогают проверить стабильность системы. Один график отображает амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в дБ, а второй график отображает зависимость фазовых характеристик (измеряемых в градусах) от частоты. Перетащите маркеры на нужные позиции прямо на отображаемой кривой. На графике отображаются координаты маркеров. Для определения частоты среза установите один маркер на 0 дБ, а второй — на фазовый сдвиг  $-180^\circ$ . Теперь можно легко определить интервал допуска по фазе и по коэффициенту усиления.

Результаты можно просмотреть в таблице. В таблице результатов измерений содержатся подробные данные о каждой измеренной точке (частота, коэффициент усиления и фазовый сдвиг). При использовании маркеров выделяется соответствующая строка таблицы результатов. Для отчетности снимки экрана и таблицы результатов можно быстро сохранить на USB-устройство.



Измерение стабильности преобразователя постоянного тока (синяя кривая: коэффициент усиления; оранжевая кривая: фаза; зеленая кривая: определение профиля амплитуды сигнала входного воздействия)

Index	Frequency	Gain	Phase	Amplitude
9.17	6.79 kHz	0.32 dB	36.46°	10.0 mV p-p
9.18	6.82 kHz	0.22 dB	36.44°	10.0 mV p-p
9.19	6.85 kHz	0.16 dB	36.36°	10.0 mV p-p
9.20	6.89 kHz	0.09 dB	36.30°	10.0 mV p-p
9.21	6.92 kHz	0.02 dB	36.29°	10.0 mV p-p
9.22	6.95 kHz	-0.05 dB	36.33°	10.0 mV p-p
9.23	6.98 kHz	-0.13 dB	36.28°	10.0 mV p-p
9.24	7.01 kHz	-0.20 dB	36.21°	10.0 mV p-p
9.25	7.05 kHz	-0.28 dB	36.16°	10.0 mV p-p
9.26	7.08 kHz	-0.34 dB	36.14°	10.0 mV p-p
9.27	7.11 kHz	-0.42 dB	36.09°	10.0 mV p-p
9.28	7.14 kHz	-0.49 dB	36.00°	10.0 mV p-p
9.29	7.18 kHz	-0.56 dB	35.93°	10.0 mV p-p
9.30	7.21 kHz	-0.64 dB	35.98°	10.0 mV p-p
9.31	7.24 kHz	-0.74 dB	35.89°	10.0 mV p-p

Таблица результатов измерений

## Заключение

Осциллографы — основные измерительные инструменты, используемые в настоящее время разработчиками для испытаний и определения характеристик источников питания. Опция анализа частотных характеристик (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) R&S®RTx-K36 обеспечивает наличие бюджетной альтернативы как низкочастотным анализаторам цепей, так и специализированным автономным анализаторам частот.

Информация для заказа				
Базовый блок	Тип	Код заказа	Опция	Код заказа
Осциллограф, 70 МГц, 2 канала	R&S®RTB2002	1333.1005.02	R&S®RTB-K36	1335.8007.02/03
Осциллограф, 70 МГц, 4 канала	R&S®RTB2004	1333.1005.04		
Осциллограф, 100 МГц, 2 канала	R&S®RTM3002	1335.8794.02	R&S®RTM-K36	1335.9178.02/03
Осциллограф, 100 МГц, 4 канала	R&S®RTM3004	1335.8794.04		
Осциллограф, 200 МГц, 4 канала	R&S®RTA4004	1335.7700.04	R&S®RTA-K36	1335.7975.02/03
Пассивный пробник напряжения, 38 МГц, 1:1, 55 В	R&S®RT-ZP1X	1333.1370.02		

R&S® является зарегистрированным торговым знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Фирменные названия являются торговыми знаками их владельцев

PD 5216.4462.98 | Версия 01.01 | Июль 2019 г. (sk)

Измерения АЧХ (ЛАФЧХ или диаграмм Боде) контура управления электропитанием

Данные без допусков не влекут за собой обязательств | Допустимы изменения

© 2019 Rohde & Schwarz GmbH Co. KG | 81671 Мюнхен, Германия



5216446298