



Обратная связь после фильтра ТРА324х и ТРА325х

Дэн Кислинг, Мэтью Бердсворт

АННОТАЦИЯ

Семейства аудиоусилителей ТРА324х и ТРА325х (ТРА3244, ТРА3245, ТРА3250, ТРА3251, ТРА3255) класса D обеспечивают высокое качество звука с общим гармоническим искажением менее 0,01% и шумом (THD + N) до ограничения. Высокий уровень качества звука делает это устройство идеальным кандидатом для аудио приложений с высоким разрешением и высокой точностью воспроизведения, которые ранее могли быть достигнуты только усилителями класса АВ. Устройства ТРА324х и ТРА325х представляют собой усилители звука класса D с аналоговым входом и замкнутым контуром (внутренняя сеть обратной связи), которые можно дополнительно улучшить, добавив дополнительную постфильтровую обратную связь (PFFB) или контур PFFB. В этом отчете по применению показана одна дополнительная реализация PFFB для усилителей ТРА3244, ТРА3245, ТРА3250, ТРА3251 и ТРА3255.

PFFB предлагает множество преимуществ, включая более низкий выходной шум, улучшенные характеристики THD + N, улучшенные характеристики IMD, более низкий выходной импеданс, частотную характеристику, менее подверженную влиянию импеданса нагрузки, и подавление нелинейностей LC-фильтра.

СОДЕРЖАНИЕ

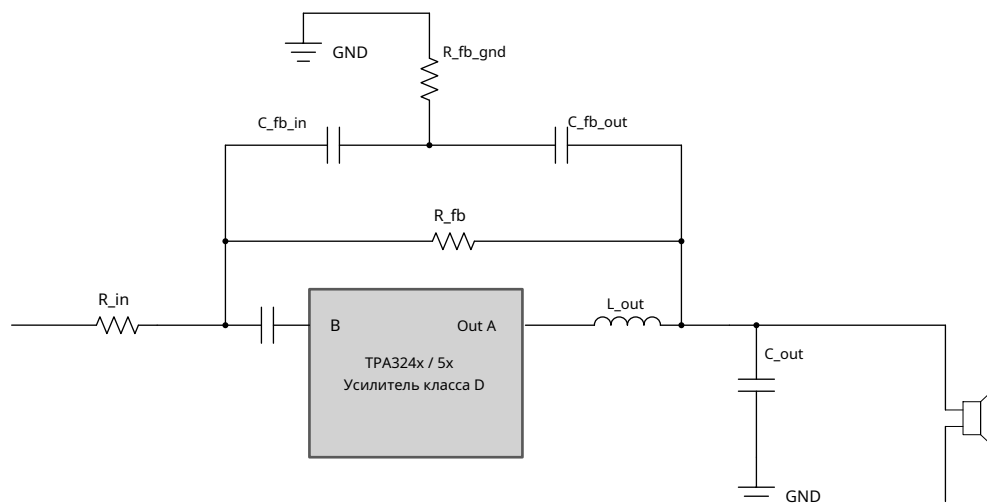
1	Реализация PFFB	2	
2	Коэффициент усиления по замкнутому контуру	4	
3	Искажения LC-фильтра	5	
4	Результаты деятельности	6	
5	Выходной шум	6	
6	SNR и DNR	6	
7	THD + N в зависимости от мощности	7	
8	THD + N в зависимости от частоты	9	
9	SMPTE IMD	CCIF	11
10	IMD	Анализ	12
11	устойчивости	Тестирование	13
12	стабильности	Выброс для входного	14
13	сигнала прямоугольной формы	Расчет запаса по	14
14	фазе ..	ТРА3245 PFFB	15
15	Стабильность ..	Частотный отклик в полном	16
16	масштабе		18
Приложение	ТРА3244		19
Приложение В	ТРА3245		25
Приложение С	ТРА3250		31 год
Приложение D.	ТРА3251		37
Приложение E	ТРА3255		43 год

Товарные знаки

Все торговые марки являются собственностью их соответствующих владельцев.

1 Реализация PFFB

Обратная связь после фильтра реализуется путем добавления вторичного контура обратной связи, внешнего по отношению к усилителю. Этот контур обратной связи принимает часть сигнала выходного напряжения усилителя после внешнего LC-фильтра и посылает сигнал ошибки обратно на вход усилителя. Видеть [Рисунок 1](#).



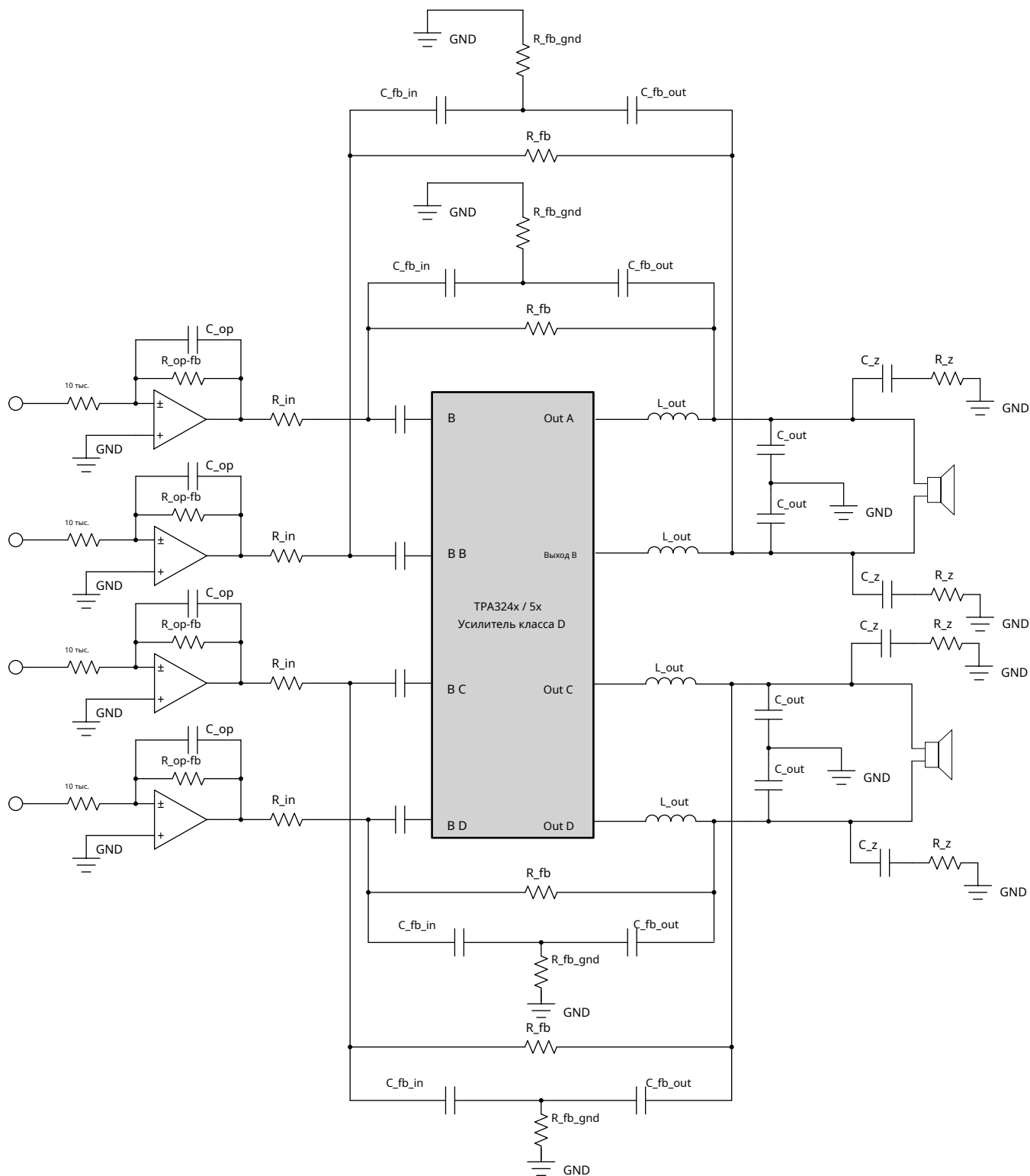
Авторские права © 2017, Texas Instruments Incorporated.

Рисунок 1. Контур обратной связи после фильтра.

Для реализации PFFB требуются следующие компоненты:

- R_{fb} - резистор обратной связи
- C_{fb_in} - Конденсатор на входной стороне сети обратной связи
- C_{fb_out} - Конденсатор на выходной стороне сети обратной связи
- R_{fb_gnd} - резистор между C_{fb_in} и C_{fb_out} и GND в цепи обратной связи R_{in} - входной
- суммирующий переходной резистор
- C_z - сетевой конденсатор Zobel
- R_z - сетевой резистор Zobel
- C_{op} - Конденсатор обратной связи операционного усилителя
- R_{op_fb} - Резистор обратной связи операционного усилителя

фигура 2 показывает реализацию пассивной PFFB, используемую в документе для ТРА3244, ТРА3245, Усилители ТРА3250, ТРА3251 и ТРА3255.



Авторские права © 2017, Texas Instruments Incorporated.

Рисунок 2. Реализация пассивной PFFB.

Таблица 1 перечисляет значения компонентов, которые улучшили качество звука и обеспечили достаточную стабильность.

Таблица 1. Рекомендуемые значения компонентов PFFB

ПФФБ Обозначение	Схема EVM Расположение и Обозначение	ТРА3244 (ПВДД = 30 В, F _{рwm} = 450 кГц)	ТРА3245 (ПВДД = 30 В, F _{рwm} = 600 кГц)	ТРА3250 (ПВДД = 36 В, F _{рwm} = 450 кГц)	ТРА3251 (ПВДД = 36 В, F _{рwm} = 600 кГц)	ТРА3255 (ПВДД = 51 В, F _{рwm} = 450 кГц)
L_out	L2, L3, L4, L5	10 мкГн	10 мкГн	10 мкГн	7 мкГн	10 мкГн
C_out	C24, C35, C43, C59	1 мкФ	1 мкФ	1 мкФ	680 нФ	1 мкФ
R_fb	R47, R49, R50, R51	18 кОм	18 кОм	18 кОм	18 кОм	33 кОм
C_fb_in	N / A	220 пФ	220 пФ	220 пФ	220 пФ	220 пФ
C_fb_out	N / A	220 пФ	1 нФ	220 пФ	1 нФ	220 пФ
R_fb_gnd	N / A	2 кОм	2 кОм	2 кОм	2 кОм	10 кОм
R_in	R4, R12, R44, R46	2,7 кОм	2,7 кОм	2,7 кОм	2,7 кОм	2,7 кОм
C_z	C77, C78, C79, C80	220 нФ	220 нФ	220 нФ	220 нФ	220 нФ
R_z	R54, R55, R56, R57	1 Ом	1 Ом	1 Ом	1 Ом	1 Ом
C_op	C18, C23, C57, C65	330 пФ	330 пФ	330 пФ	330 пФ	330 пФ
R_op_fb	R8, R41, R21, R25	10 кОм	10 кОм	10 кОм	10 кОм	10 кОм

- R_fb и R_in контролируют количество отрицательной обратной связи, используемой в этой системе.
- C_fb_in, C_fb_out и R_fb_gnd создают сеть обратной связи, которая помогает с откликом на открытую нагрузку и общей стабильностью сети.
- C_z и R_z создают сеть Zobel и необходимы для стабильности сети.

Сеть Zobel помогает ослабить высокочастотный звон, демпфируя амплитудную характеристику выходного сигнала LC-фильтра и снижая коэффициент качества (Q). Это особенно необходимо для стабильности при открытой нагрузке, когда добротность LC-фильтра чрезвычайно велика из-за отсутствия демпфирования из-за импеданса нагрузки. Уменьшение добротности выходного фильтра также увеличивает стабильность за счет ослабления фазового сдвига, связанного с системой высокого качества.

Лучше всего держать компоненты обратной связи близко к устройству, чтобы сигналы обратной связи не подвергались значительным искажениям или шумам.

К

2

Замкнутый контур усиления

Выбрав компоненты для PFFB и известное усиление усилителя, можно оценить новое усиление с обратной связью. Уравнение 1 показывает усиление с обратной связью.

$$A_o \times \frac{1}{1 + A_o E} \quad (1)$$

Использовать Уравнение 2 для расчета коэффициента обратной связи.

$$\frac{R_{fb}}{R_{fb} + R_{in}} \quad (2)$$

С использованием [Уравнение 1](#) а также [Уравнение 2](#) можно вычислить усиление PFFB и усиление отрицательной обратной связи.

[Уравнение 3](#) показывает пример для ТРА3251.

$$\begin{array}{rcl} 0 & 20 \text{ дБ } 10 \text{ Е} & \frac{2,7 \text{ тыс.}}{2,7 \text{ к } 18 \text{ к}} \quad 0,13 \\ & \frac{10}{1 \text{ тыс. } 0,13} & 4,35 \text{ } 12,8 \text{ дБ} \end{array}$$

куда

- Коэффициент усиления замкнутого контура был уменьшен до 12,8 дБ из-за PFFB.
- На усилитель нанесено 7,2 дБ PFFB

(3)

На каждый усилитель было приложено примерно 6-7 дБ PFFB. [Таблица 2](#) перечисляет результаты.

Таблица 2. Параметры PFFB

Обратная связь Параметры	ТРА3244 (ПВДД = 30 В, F _{рwm} = 450 кГц)	ТРА3245 (ПВДД = 30 В, F _{рwm} = 600 кГц)	ТРА3250 (ПВДД = 36 В, F _{рwm} = 450 кГц)	ТРА3251 (ПВДД = 36 В, F _{рwm} = 600 кГц)	ТРА3255 (ПВДД = 51 В, F _{рwm} = 450 кГц)
Усиление (дБ)	18	18	20	20	21,5
Коэффициент обратной связи	0,130	0,130	0,130	0,130	0,076
PFFB усиление A _{дБ}	11,82	11,82	12,75	12,75	15,93
Отрицательная обратная связь	6,18	6,18	7,25	7,25	5,57

3 Искажение LC-фильтра

LC-фильтр извлекает непрерывный аналоговый аудиосигнал из выхода ШИМ для класса D, чтобы подавить излучающие электромагнитные помехи и ток пульсаций в подключенной нагрузке. Однако, поскольку семейства ТРА324х и ТРА325х предлагают такой высокий уровень производительности, индуктор, используемый в LC-фильтре, является основным источником искажений. За счет обратной передачи выходного сигнала после катушки индуктивности в PFFB искажения катушки индуктивности и конденсатора могут быть значительно уменьшены. Для систем, где более низкие искажения не требуются, PFFB может позволить использовать меньшую и менее дорогую катушку индуктивности или конденсатор и скорректировать некоторые дополнительные искажения. Поскольку меньшие катушки индуктивности обычно менее линейны и вызывают более высокие искажения, улучшение искажений, предлагаемое PFFB, может обеспечить очень хорошие характеристики системы даже с катушкой индуктивности этого типа.

[Рисунок 3](#) показывает разницу в производительности между двумя разными индукторами 10 мкГн на ТРА3245. Благодаря PFFB улучшаются не только общие характеристики усилителя, но и разница в производительности между два индуктора были уменьшены.

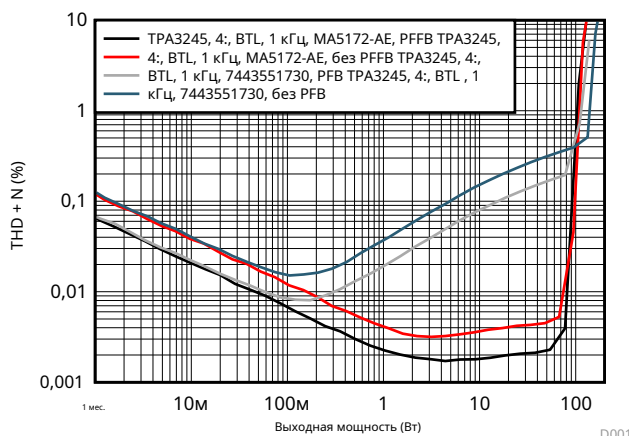


Рисунок 3. Сравнение THD + N и силового индуктора

4 Результаты производительности

PFFB реализован на ТРА3245, ТРА3251, ТРА3255, ТРА3244 и ТРА3250 EVM. Производительность EVM измеряется, а затем производительность EVM с PFFB реализуется для тех же условий. Следующие измерения были выполнены для всех устройств. Для некоторых результатов воспроизведения звука показаны только результаты производительности ТРА3245, чтобы облегчить чтение документа. Остальные результаты усилителя можно найти в приложении.

5 Выходной шум

Выходной шум почти вдвое снижен для систем с PFFB. Чем ниже уровень шума, тем лучшие пользователи будут способен слышать мелкие детали в аудио. [Таблица 3](#) перечисляет А-взвешенный шум.

Таблица 3. Шум - взвешенный

Конфигурация EVM	ТРА3244 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3245 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3250 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3251 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3255 (ПВДД = 51 В, Fpwm = 450 кГц)
Стандарт конфигурация	54,5 мкВ	54,4 мкВ	62,7 мкВ	61,4 мкВ	81,5 мкВ
ПФФБ	29,5 мкВ	28,7 мкВ	30,5 мкВ	28,3 мкВ	46,2 мкВ

6 SNR и DNR

Отношение сигнал шум (SNR) и коэффициент динамического диапазона (DNR) являются очень важными числами для оценки звуковые характеристики усилителя. В одном номере они суммируют, насколько низкий выходной шум сравнивается с тем, насколько громким может быть усилитель. Чем меньше число, тем лучше звучит система. Разница между SNR и DNR заключается в том, что для SNR входной сигнал заземлен. Для DNR входной сигнал очень мал (-60 дБ входного сигнала требуется для достижения уровня мощности, соответствующего 1% THD + N). Обе они важны, потому что некоторые цепи могут быть активированы в ИС при очень малых сигнализирует, что не может быть активирован, когда выходы заземлены.

[Таблица 4](#) перечисляет А-взвешенное отношение сигнал / шум.

Таблица 4. SNR - Взвешенный

Конфигурация EVM	ТРА3244 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3245 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3250 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3251 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3255 (ПВДД = 51 В, Fpwm = 450 кГц)
Стандарт конфигурация	- 111,4 дБ	- 111,5 дБ	- 111,3 дБ	- 111,8 дБ	- 111,9 дБ
ПФФБ	- 116,8 дБ	- 116,8 дБ	- 117,4 дБ	- 117,8 дБ	- 116,5 дБ

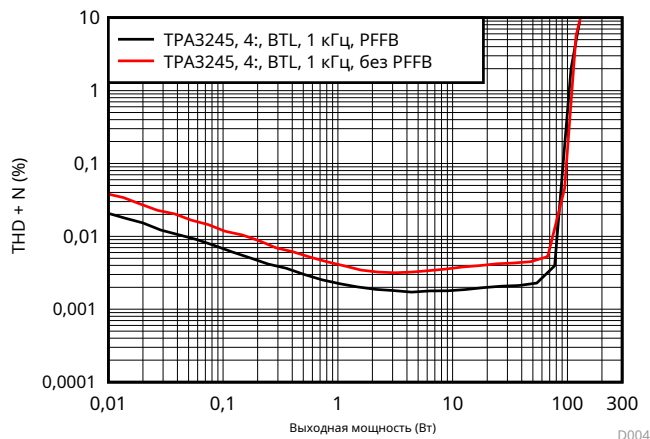
[Таблица 5](#) перечисляет А-взвешенный DNR.

Таблица 5. DNR - Взвешенный

Конфигурация EVM	ТРА3244 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3245 (ПВДД = 30 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3250 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 450 кГц)	ТРА3251 (ПВДД = 36 В, Fpwm = 600 кГц)	ТРА3255 (ПВДД = 51 В, Fpwm = 450 кГц)
Стандарт конфигурация	- 111,2 дБ	- 111,5 дБ	- 111,1 дБ	- 111,6 дБ	- 111,9 дБ
ПФФБ	- 117,1 дБ	- 116,9 дБ	- 117,5 дБ	- 117,6 дБ	- 116,5 дБ

7 THD + N против мощности

Кривые THD + N в зависимости от мощности могут рассказать вам о мощности устройства на одной частоте. Вы можете использовать эту кривую для получения значений мощности для устройства, например, мощности при 1% THD + N и 10% THD + N. Кроме того, эта кривая полезна, чтобы увидеть, как усилитель работает при более низких мощностях, которые имеют решающее значение для того, как усилитель звучит при типичной комнатной громкости, например, от 1 Вт до 10 Вт. **Рисунок 4** PFFB в этой системе немного ограничивает характеристики высокой мощности устройства, потому что входные операционные усилители начинают насыщаться при напряжениях, достаточно высоких, чтобы вывести усилитель на высокую мощность. Характеристики более низкой мощности, которые очень важны для того, как усилитель действительно звучит для человеческого уха, улучшаются примерно на 5 дБ с этой конфигурацией PFFB. В качестве примера ниже используется ТРА3245 с 4Ω Загрузить в BTL с PVDD = 30 В.



Фигура 4. THD + N в зависимости от мощности на 1 кГц

Таблица 6. ТРА3245: вход 1 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 68,383	- 73,669	- 5,28
0,1	- 78,305	- 83 263	- 4,958
1	- 87,610	- 92 844	- 5,234
10	- 88,768	- 94 845	- 6,076

1 кГц - стандартный сигнал для кривых THD + N, но другие частоты являются общими и полезными. 100 Гц значение дает представление о том, как нижний частотные характеристики есть и могут быть полезны для вуфера или сабвуфера дизайн.

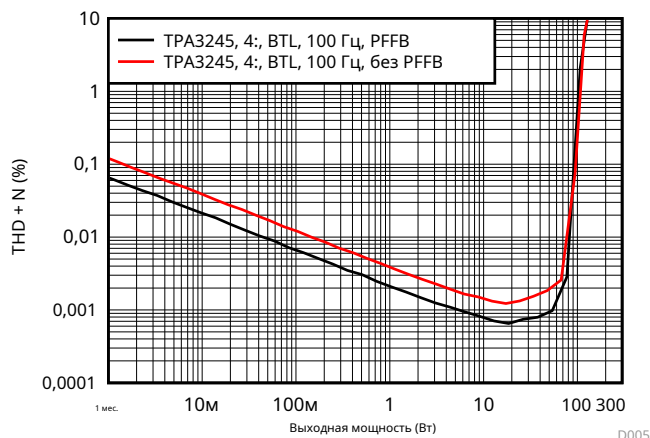
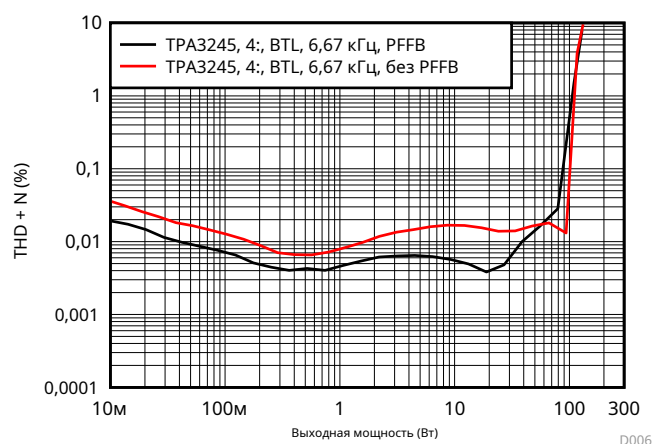


Рисунок 5. THD + N в зависимости от мощности при 100 Гц

Таблица 7. ТРА3245: вход 100 Гц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 68,211	- 73,418	- 5,208
0,1	- 78 243	- 83 479	- 5,236
1	- 88,141	- 93,446	- 5,304
10	- 96,802	- 102,021	- 5,219

6,67 кГц также полезно увидеть, потому что это обычно сложный тест для усилителей класса D. 6,67 кГц - это самая высокая частота в диапазоне 20 кГц, на котором все еще может отображаться вторая (13,13 кГц) и третья (20 кГц) гармонический.


Рисунок 6. THD + N в зависимости от мощности на 6,67 кГц.
Таблица 8. ТРА3245: вход 6,67 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 68 830	- 74,306	- 5,476
0,1	- 77 840	- 82 860	- 5,020
1	- 82,050	- 86,783	- 4,733
10	- 75,523	- 85,115	- 9,592

8 THD + N в зависимости от частоты

Кривые THD + N в зависимости от частоты могут дополнять кривые THD + N в зависимости от мощности, чтобы увидеть, как усилитель работает на всех частотах при заданной мощности. Это обеспечит хорошее звучание усилителя на всех слышимых частотах при определенном уровне мощности. Было использовано несколько уровней мощности. Уровни мощности 1 Вт и 10 Вт равны важны, потому что они показывают, как усилитель работает при более низких мощностях, которые имеют решающее значение для звучания усилителя при обычной громкости в помещении. Уровень мощности 50 Вт также считается показателем высокой мощности. представление.

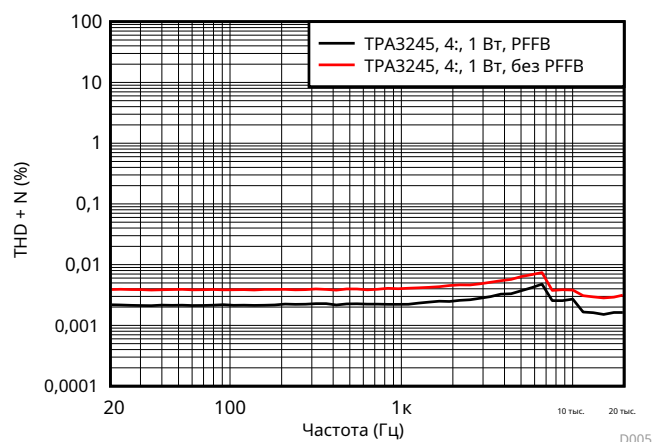


Рисунок 7. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 9. ТРА3245: 1 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 88,199	- 93,202	- 5,003
100	- 88 284	- 93 329	- 5,045
1000	- 87,888	- 93,063	- 5,176
10000	- 88 355	- 91 359	- 3,003
15000	- 90,919	- 96,330	- 5,411

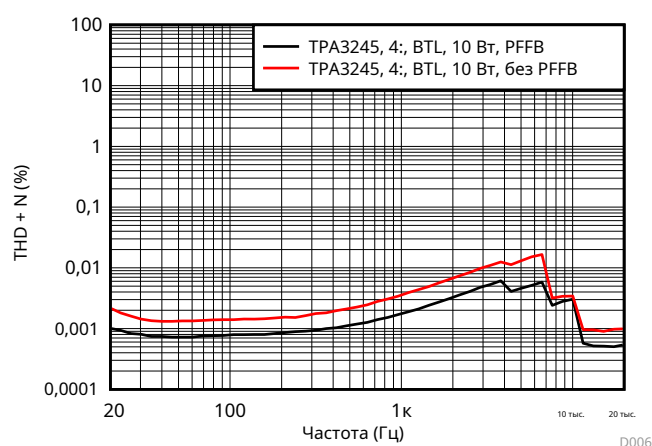


Рисунок 8. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт

Таблица 10. ТРА3245: 10 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 93,255	- 99 900	- 6,645
100	- 97,083	- 102,088	- 5,005
1000	- 88,966	- 95,103	- 6,137
10000	- 82 290	- 90,367	- 1,077
15000	- 100 874	- 105,783	- 4,908

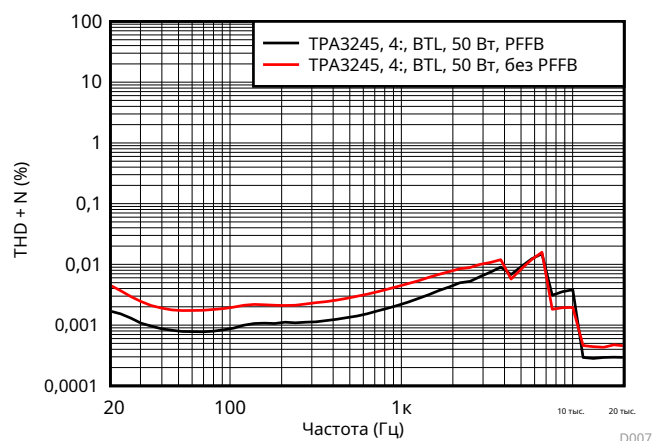


Рисунок 9. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 11. ТРА3245: 50 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 86,882	- 95,380	- 8,498
100	- 94,246	- 101,191	- 6,945
1000	- 86,941	- 93,134	- 6,193
10000	- 94,173	- 88,351	- 5,823
15000	- 107 281	- 110,676	- 3,395

9 SMPTE IMD

Интермодуляционные искажения (IMD) - важный элемент для измерения на усилителях класса D. IMD создается, когда два или более звуковых тона сталкиваются друг с другом в нелинейном устройстве, чтобы произвести новые нежелательные тона. SMPTE IMD - это метод измерения IMD в соответствии со стандартом SMPTE RP120-1983. Этот метод IMD использует тон 60 Гц и тон 7 кГц, смешанные в соотношении 4: 1. Первыми измеряются гармоники тона 60 Гц. Один из полезных способов просмотра уровней искажений - это посмотреть на сумму гармоник в зависимости от выходной мощности. Это может дать вам представление о том, какая часть гармоник будет слышна, и если этот уровень значительно ухудшится при высокой мощности.

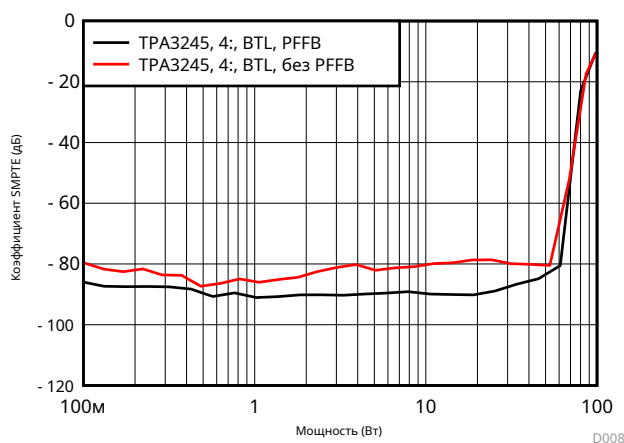


Рисунок 10. SMPTE IMD против силы

Еще один полезный вид - увидеть все гармоники при определенной мощности. уровень. Рисунок 11. а также Рисунок 12. показать IMD SMPTE мощностью 1 и 10 Вт. Видно, что вторая гармоника очень мала для в стандартной комплектации, а с ПФБ даже ниже. Кроме того, вы можете видеть, что ПФБ лучше всего гармоники на 1 Вт и 10 Вт.

Таблица 12. Коэффициент произведения искажений SMPTE

Частота	60 Гц	6,76 кГц	6,82 кГц	6,88 кГц	6,94 кГц	7,00 кГц	7,06 кГц	7,12 кГц	7,18 кГц	7,24 кГц
	f1	d5	d4	d3	d2	f2	d2	d3	d4	d5

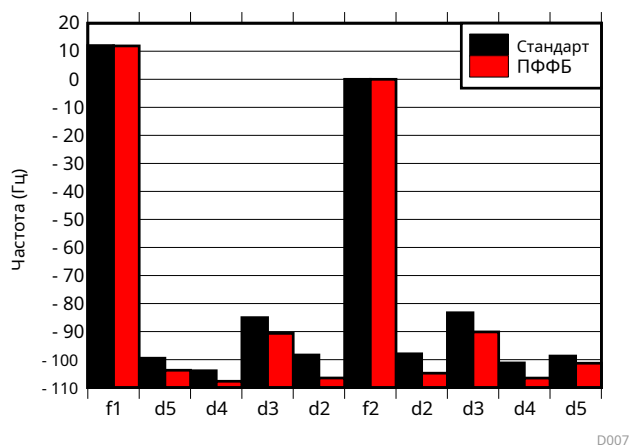


Рисунок 11. Коэффициент произведения искажений IMD SMPTE при 1 Вт

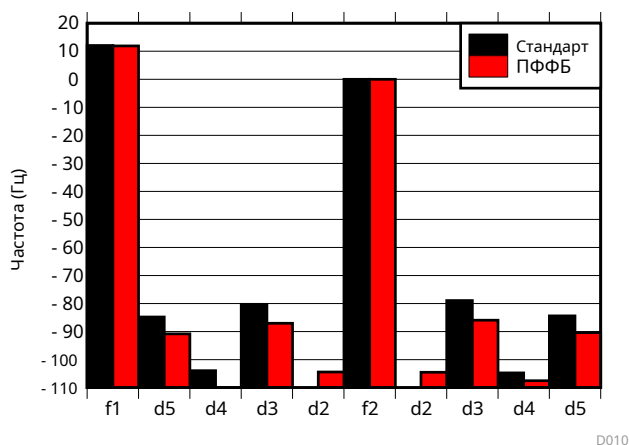


Рисунок 12. Коэффициент нелинейных искажений SMPTE IMD при 10 Вт

10 CCIF IMD

CCIF IMD более чувствителен к высокочастотной нелинейности; он смешивает волны 19 кГц и 20 кГц. CCIF IMD от мощности - способ измерения высокочастотной нелинейности устройство по мощности.

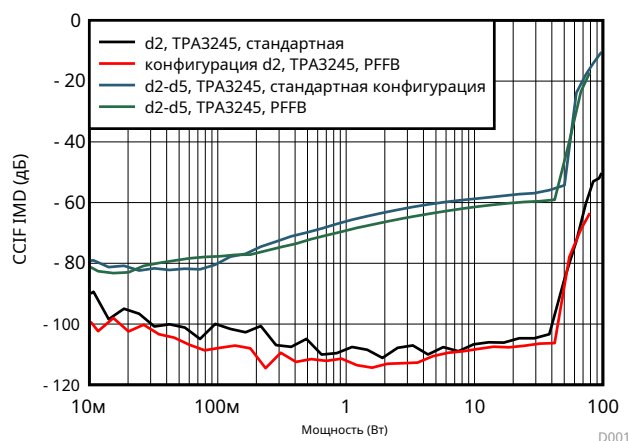


Рисунок 13. CCIF IMD в зависимости от мощности

Коэффициент произведения искажений CCIF позволяет нам посмотреть, какие гармоники присутствуют и на каком уровне. Произведение d2 (1 кГц) чрезвычайно важно, поскольку его легко отличить от высокочастотных тонов. Семейство ТРА324х и ТРА325х имеет превосходные искажения d2, а PFFB дополнительно улучшает искажения ниже слышимого уровня. Третья и пятая гармоники (d3 и d5 соответственно) находятся на более высоком уровне, но поскольку они так близки к сигнальным тонам, трудно воспринимать. Видно, что PFFB они улучшают нелинейность системы и уменьшают d3 и d5 также.

Таблица 13. Искажения CCIF Соотношение продукта

Частота	1,00 кГц	2,00 кГц	17,00 кГц	18,00 кГц	19,00 кГц	20,00 кГц	21,00 кГц	22,00 кГц
	d2	d4	d5	d3	f1	f2	d3	d5

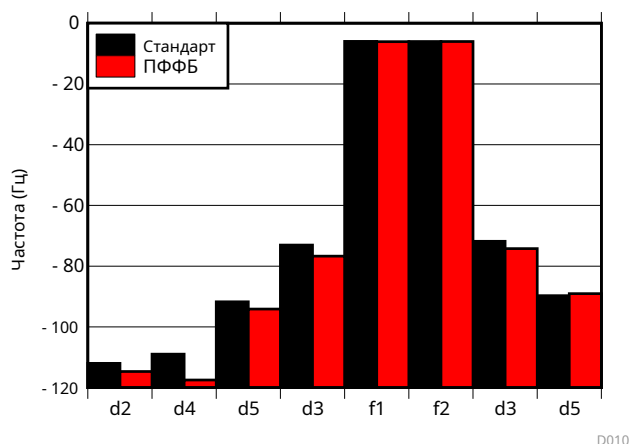
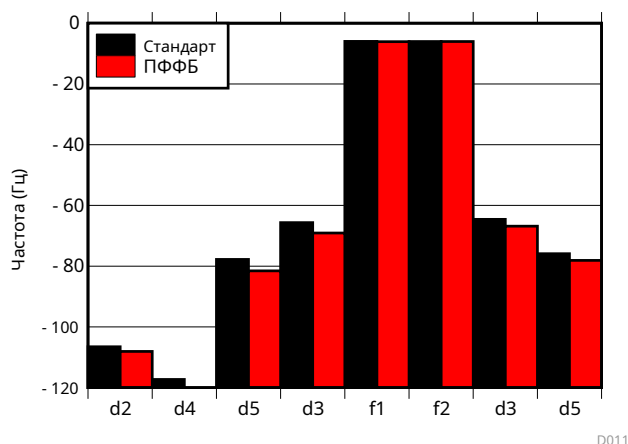


Рис. 14. Коэффициент произведения искажения интермодуляционных искажений CCIF при 1 Вт.



Фигура 15. Искажение IMD CCIF. Соотношение продукта при 10 Вт

11 Анализ устойчивости

Анализ устойчивости важен для PFFB, чтобы гарантировать, что добавленный внешний контур PFFB не вызовет колебаний усилителя. При неправильно выбранных значениях компонентов PFFB плохие запасы устойчивости могут вызвать колебания усилителя. Это может привести к отключению усилителя и его нестабильному поведению, особенно вблизи отсечки.

Важно обеспечить стабильность системы при любых условиях. По этой причине необходимо принять меры для обеспечения стабильности устройств TPA324x и TPA325x в условиях открытой нагрузки при использовании PFFB. Для случаев открытой нагрузки LC-фильтр Q чрезвычайно велик. На коэффициент добротности LC-фильтра будут влиять изменения сопротивления нагрузки, и открытая нагрузка вызовет чрезвычайно большую добротность. Сеть Zobel используется для уменьшения добротности открытого варианта нагрузки путем добавления сопротивления или нагрузки к выход. Это уменьшение добротности приведет к уменьшению звона на выходе. Видеть [Рисунок 16](#).

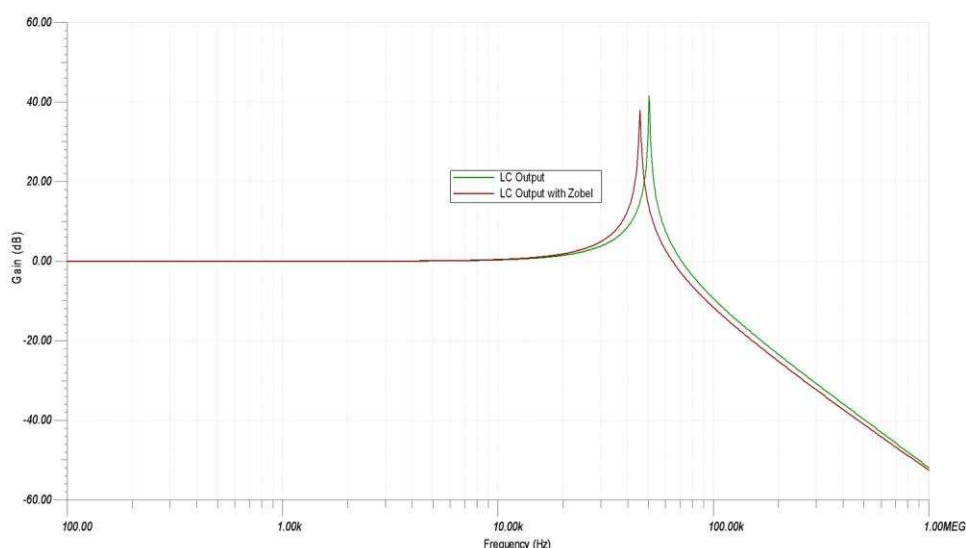


Рис. 16. Реакция на нагрузку открытия LC-фильтра - моделирование TINA Spice

Добавив больше емкости к конденсатору Зобеля, отклик можно было бы еще больше улучшить, но здесь есть важный компромисс. Эта RC-сеть будет подключена к выходам усилителя большой мощности. Поэтому мы должны помнить о напряжении на конденсаторе и токе через резистор. Расчет выполняется для мощности, рассеиваемой в резисторе Цобеля. Наихудший случай здесь - полная шкала высоких частот.

сигнал. Диапазон звуковых частот составляет 20 кГц, так что это будет частота наихудшего случая. В выходной терминал к Наихудший случай GND - это сигнал полной шкалы, таким образом, PVDD является амплитудой наихудшего случая.

Таблица 14. Рассеивание мощности в резисторе Цобеля в наихудшем случае

TPA3244 (PVDD = 31,5, Fpwm = 450 кГц)	TPA3245 (PVDD = 31,5, Fpwm = 600 кГц)	TPA3250 (PVDD = 36 В, Fpwm = 450 кГц)	TPA3251 (PVDD = 36 В, Fpwm = 600 кГц)	TPA3255 (PVDD = 51 В, Fpwm = 450 кГц)
P (R _z) (Вт)	P (R _z) (Вт)	P (R _z) (Вт)	P (R _z) (Вт)	P (R _z) (Вт)
0,095	0,095	0,124	0,124	0,273

Если установить конденсатор Цобеля на 220 нФ, рассеиваемая мощность в худшем случае составит примерно ¼ Вт для TPA3255 и 1/8 Вт для TPA3250, TPA3251, TPA3244 и TPA3245. Это позволяет пользователям использовать небольшие недорогие компоненты для сети Zobel.

Взаимосвязь между емкостью конденсатора Цобеля и рассеиваемой мощностью в худшем случае не является линейной. Например, для случая TPA3255, если емкость конденсатора Цобеля была увеличена до 440 нФ, мощность, рассеиваемая на резисторе, составила бы 1,09 Вт в худшем случае. Если конденсатор Зобеля был увеличен до 660 нФ, мощность рассеиваемая мощность составит 2,44 Вт.

Для реального звука на высоких частотах меньше энергии. Полномасштабная синусоида с частотой 20 кГц - это очень строгий тест. Для большинства аудиоприложений резистор Zobel рассеивает очень мало энергии.

12 Тестирование стабильности

Есть несколько тестов, которые следует выполнить на любой конфигурации PFFB:

- Тестовый выброс для прямоугольной волны на входе
- Проверка частотной характеристики на полной шкале

13 Выброс для входной прямоугольной волны

Семейство усилителей ТРА324х и ТРА325х имеет интегрированную петлю обратной связи для подавления шума, что делает практически невозможным анализ усиления в частотной области и фазовый анализ для стабильности PFFB. Дополнительная сложность добавляется, поскольку контур PFFB включает фазовые и амплитудные характеристики выходного LC-фильтра, а внутренний контур обратной связи - нет. По этой причине анализ перерегулирования во временной области является лучшим средством оценки стабильности.

Использование настроек EVM ТРА324х и ТРА325х в BTL PFFB, описанных в [Секция 1](#), в систему вводился прямоугольный сигнал частотой 1 кГц. Выход усилителя контролировался осциллографом, чтобы зафиксировать величину выброса на переднем фронте входной прямоугольной волны. Выходное напряжение усилителя прямоугольного сигнала должно быть достаточно большим для хорошего разрешения осциллографа, используемого для наблюдения за выбросом. Однако амплитуда не должна быть достаточно большой, чтобы приблизиться к ограничению усилителя. В нелинейность отсечения даст неточные результаты. Для этого теста напряжение 3,3 В_{RMS} дифференциальный сигнал вводится в систему.

Некоторые осциллографы имеют встроенную возможность измерения перерегулирования. Перерегулирование также можно рассчитать с помощью [Уравнение 4](#).

$$\text{Превышение (\%)} = [(V_{\text{peak}}) - (V_{\text{ideal}})] / [(V_{\text{ideal}}) - (V_{\text{ss}})] \quad (4)$$

14 Расчет запаса по фазе

После регистрации процента перерегулирования можно определить запас по фазе. Есть несколько способов выполнить это. Пользователи могут использовать раздел «Стабильность» [Калькулятор аналогового инженера](#).

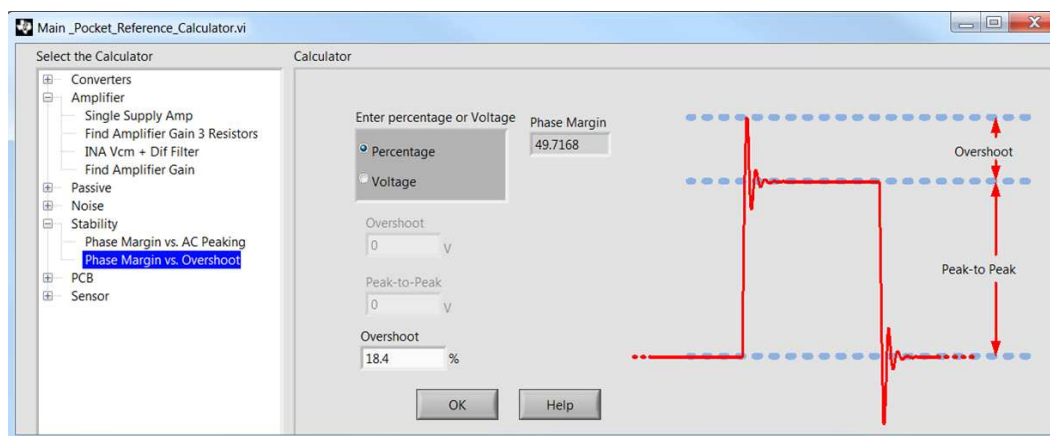


Рис. 17. Калькулятор запаса по фазе и перерегулирования от разработчика-аналогового инженера.

В качестве альтернативы кривая в [Рисунок 18](#) может быть использован.

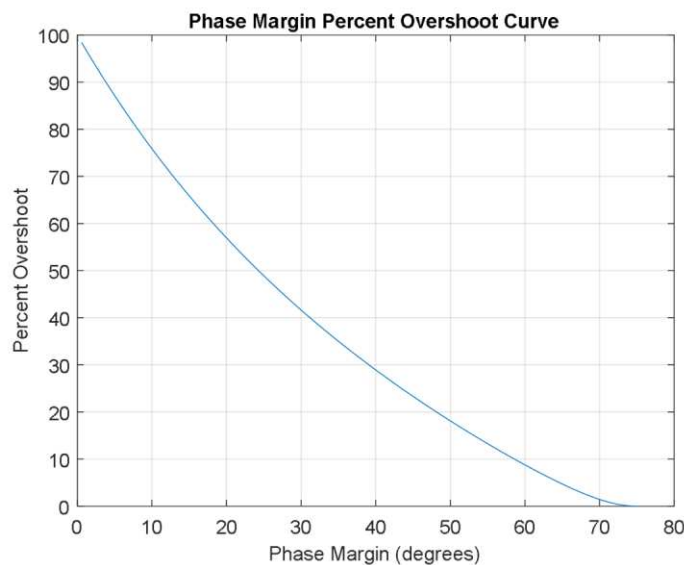


Рисунок 18. Кривая процентного превышения запаса по фазе

Кривая в [Рисунок 18](#) был сгенерирован с помощью следующего кода:

```
x = 0,27: 0,01: 100;
pm = 90- (180 / пи) * atan (x); q = sqrt (x. *
sqrt ((1 + x. ^ 2))); os = 100 * exp (-pi ./ (sqrt (4
* q. ^ 2-1))); сюжет (pm, os)
```

заглавие('Кривая процентного превышения запаса по фазе'); xlabel ('Запас по фазе (градусы)'); ylabel ('Процент превышения'); сетка;

Необходимо выполнить испытание прямоугольной формы с частотой 1 кГц для возможных нагрузок, которым будет подвергаться система, и испытание под открытой нагрузкой. Цель состоит в том, чтобы оценить устойчивость контура и определить, возможны ли какие-либо колебания. Глядя на прямоугольную волну, мы можем увидеть переходную характеристику и определить, насколько быстро затухают колебания. Если колебания не затухают достаточно быстро, выходной сигнал может колебаться, что может привести к повреждению устройства.

Чтобы завершить тест прямоугольной волны 1 кГц, сначала начните с наихудшего случая: открытой нагрузки. Для усилителя класса D в PFFB наиболее нестабильным состоянием является разгрузка выхода усилителя. Без нагрузки добротность ЖК-фильтра будет чрезвычайно большой. Этот коэффициент качества экстремальной амплитуды достигает максимума на частоте, определяемой значениями компонентов катушки индуктивности (L) и конденсатора (C). Более того, чем выше Q, тем быстрее сдвигается фаза на -180° для постепенного увеличения частоты, что означает, что амплитуда фильтра все еще будет очень большой при больших фазовых сдвигах; это вызывает нестабильность.

Если доказано, что усилитель имеет стабильную открытую нагрузку, то вероятность проблем со стабильностью при нагрузке на выход усилителя снижается.

15 ТРА3245 PFFB Стабильность

С помощью осциллографа измерьте сигнал после LC-фильтра без нагрузки, подключенной к выходу. Подайте на вход усилителя прямоугольный сигнал частотой 1 кГц. Установите амплитуду либо на максимальную амплитуду сигнала, которую будет подавать ваша система, либо на самый высокий вход, который не вызывает клиппирования, в зависимости от того, что ниже.

Например, 3.3-V_{RMS} signal Прямоугольный сигнал с частотой 1 кГц подается на ТРА3245EVM с установленными компонентами PFFB до начала ограничения выхода. [Рисунок 19](#). показывает выходную волну.

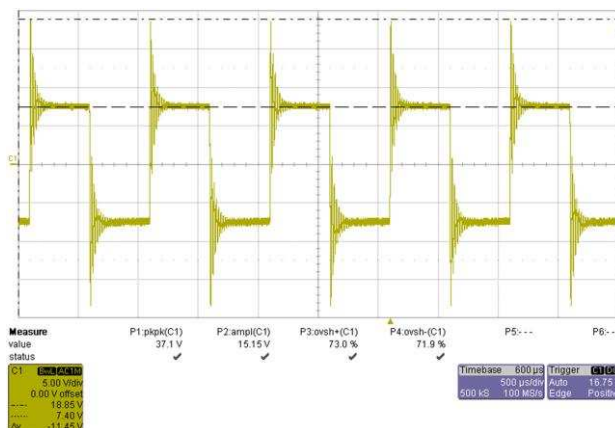


Рисунок 19. Отклик прямоугольной волны ТРА3245 PFFB, 1 кГц, разомкнутый.

Изображения осциллографа имеют перерегулирование на 73% и запас по фазе 11° .

11 ° довольно мало, но это наихудший тест. Также важно отметить, насколько быстро затухают колебания. Этот очень быстрый распад указывает на хорошую стабильность петли. [Рисунок 20.](#) показывает реакцию открытой нагрузки на TPA3245 без PFFB.

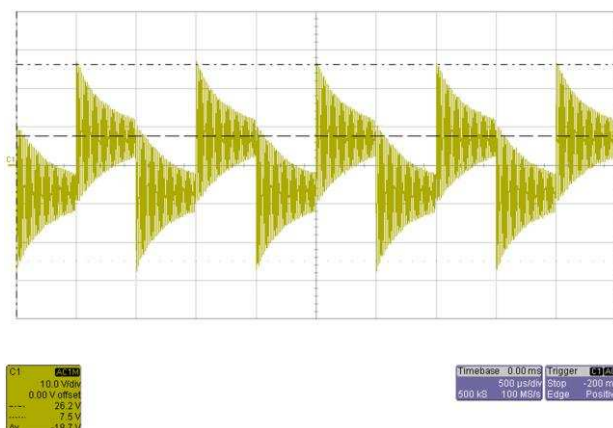


Рисунок 20. Стандартная конфигурация TPA3245, прямоугольная волна на разомкнутой частоте, 1 кГц.

Затем следует протестировать прямоугольный сигнал частотой 1 кГц на всех других нагрузках, которые система должна поддерживать. Убедитесь, что используемая нагрузка способна поддерживать мощность, которую будет подавать усилитель. Для TPA3245 это около 115 Вт на 4 Ω и 60 Вт для 8 Ω .

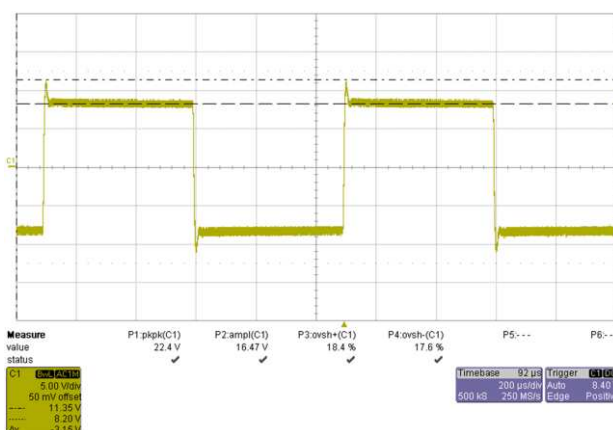


Рисунок 21. TPA3245 PFFB, прямоугольная волна, 1 кГц 4- Ω Ответ

С 4- Ω При нагрузке выход имеет выброс 18,4% и запас по фазе 50 °.

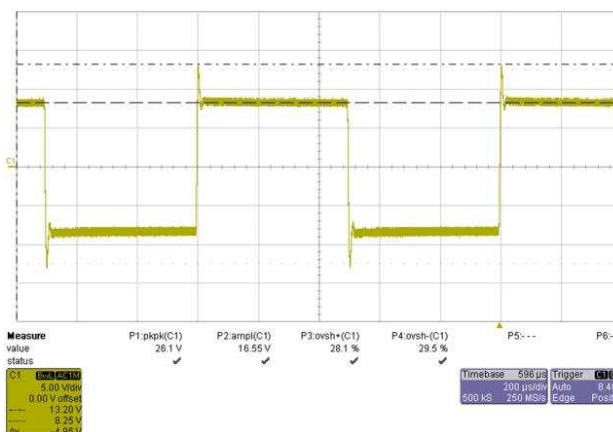


Рисунок 22. TPA3245 PFFB, прямоугольная волна, 1 кГц 8- Ω Ответ

Тесты прямоугольной волны для ТРА3250, ТРА3251, ТРА3245, ТРА3244 и ТРА3255 можно найти в [Приложение, Приложение В, Приложение С, Приложение D](#)., а также [Приложение E](#).

16 Частотный отклик в полном масштабе

Частотная характеристика устройства также должна быть проверена, чтобы убедиться, что никакие сигналы внутри звукового диапазона не могут вызвать нестабильность устройства. Это должно быть сделано для открытой нагрузки и всех нагрузок, которые должна поддерживать система. Этот тест следует проводить при самом высоком выходном напряжении, которое устройство может поддерживать.

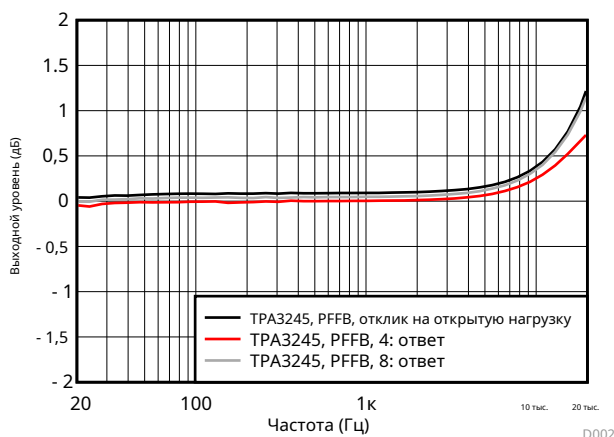


Рисунок 23. ПФБ. Звуковая частотная характеристика

Если во время одного из этих тестов возникает ошибка, значит, проблема со стабильностью.

Важно отметить, что это следует делать для всех частот, которые, как ожидается, будет передавать данное устройство. Если по какой-либо причине усилитель будет получать входные сигналы за пределами звукового диапазона на высоких уровнях, это также следует проверить. Система, скорее всего, будет иметь проблемы со стабильностью на более высоких частотах, особенно при открытой нагрузке, из-за пика LC-фильтра. [Рисунок 24](#) показывает расширенную частотную характеристику ПФБ.

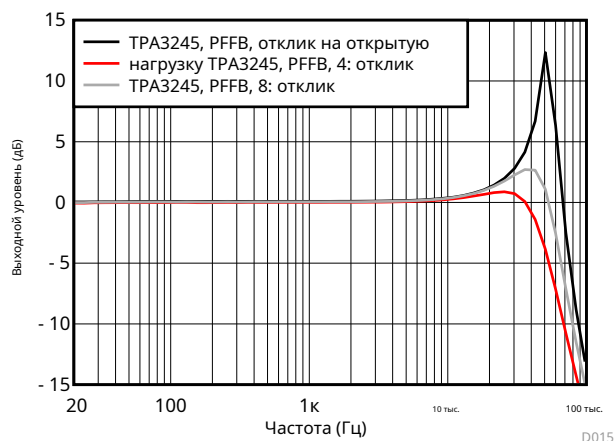


Рисунок 24. Расширенная частотная характеристика ПФБ.

Если устройство проходит выброс для прямоугольного сигнала на входе и частотной характеристики на полную шкалу для всех условий аудиосистемы (напряжение PVDD, условия нагрузки, температура и т. Д.), Система считается стабильной.

TPA3244

A.1 TPA3244 EVM PFFB Результаты испытаний

Таблица 15. Резюме TPA3244

Параметр	Стандарт	ПФФБ
Усиление (дБ)	18	11,8
Отрицательная обратная связь (дБ)	0	6.2
Выходной шум (мкВ) А-взвешенный	54,5	29,5
SNR (дБ) А-взвешенный	- 111,4	- 116,8
DNR (дБ) А-взвешенный	- 111,2	- 117,1

A.2 TPA3244 THD + N против мощности

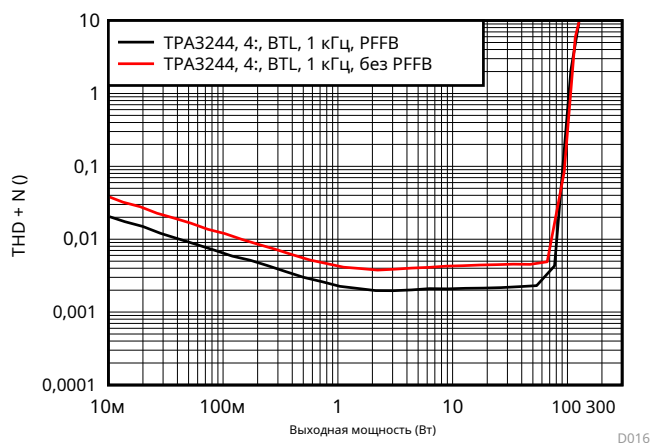
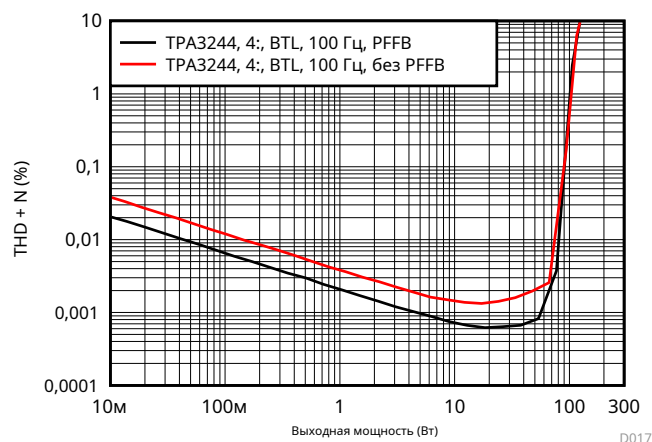


Рисунок 25. THD + N в зависимости от мощности при 1 **кГц**

Таблица 16. TPA3244: 1 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 68,196	- 73,677	- 5,481
0,1	- 78,298	- 83,684	- 5,386
1	- 87,277	- 92,770	- 5,492
10	- 87,343	- 93,570	- 6,226



Фигура 26. THD + N против мощности на 100 Гц

Таблица 17. ТРА3244: 100 Гц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 68,296	- 73,695	- 5,399
0,1	- 78,380	- 83,605	- 5,226
1	- 88 286	- 93,599	- 5,313
10	- 96,775	- 102,759	- 5,985

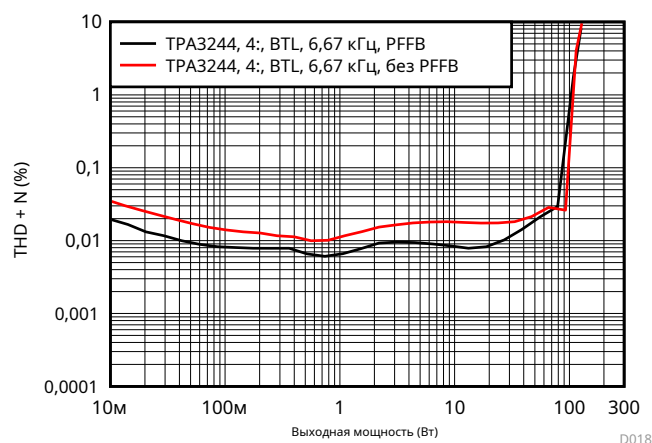


Рисунок 27. THD + N в зависимости от мощности на 6,67 кГц.

Таблица 18. ТРА3244: 6,67 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 69,063	- 74,142	- 5,079
0,1	- 77,034	- 81,750	- 4,717
1	- 79,047	- 83,735	- 4,688
10	- 74 878	- 81,555	- 6,677

A.3 ТРА3244 THD + N в зависимости от частоты

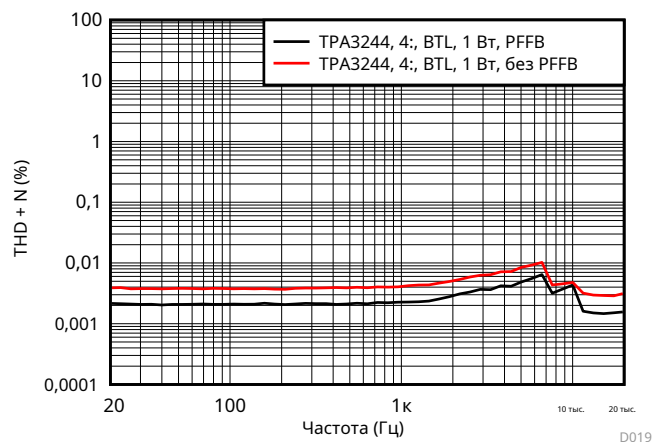


Рисунок 28. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 19. ТРА3244: 1 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 88,202	- 93,291	- 5,089
100	- 88,468	- 93,554	- 5,086
1000	- 87,740	- 92,893	- 5,152
10000	- 86,427	- 87,280	- 0,854
15000	- 90 679	- 96,657	- 5,977

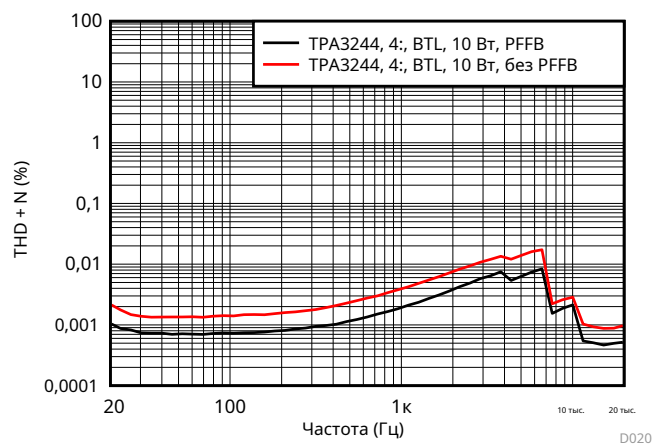


Рисунок 29. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт.

Таблица 20. ТРА3244: 10 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 93.200	- 99 457	- 6,257
100	- 97,002	- 102,704	- 5,702
1000	- 88,101	- 94,294	- 6,193
10000	- 90,901	- 93,418	- 2,517
15000	- 101,101	- 106,543	- 5,442

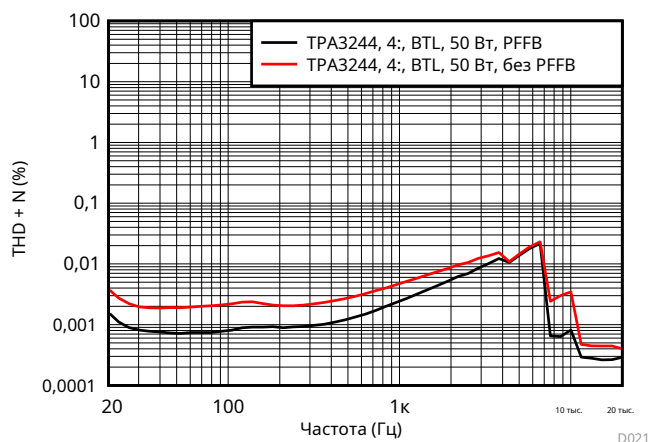


Рисунок 30. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 21. ТРА3244: 50 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 88,218	- 95 958	- 7,740
100	- 93 263	- 101,948	- 8,685
1000	- 86,504	- 92 282	- 5,779
10000	- 89,209	- 101,776	- 12,567
15000	- 107,020	- 111,545	- 4,525

A.4 Коэффициент продукта искажения ТРА3244 SMPTE

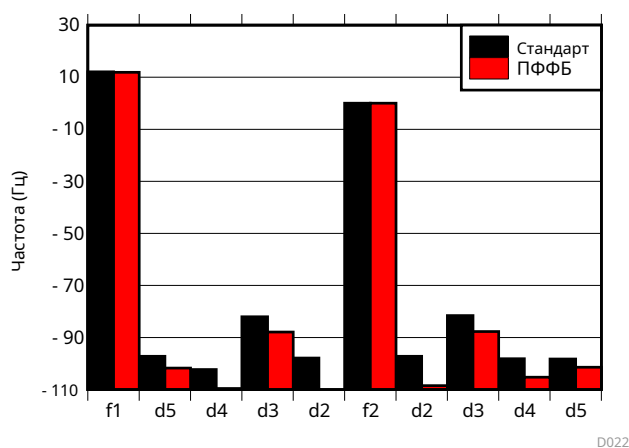


Рисунок 31. SMPTE IMD - ТРА3244 на 1 Вт

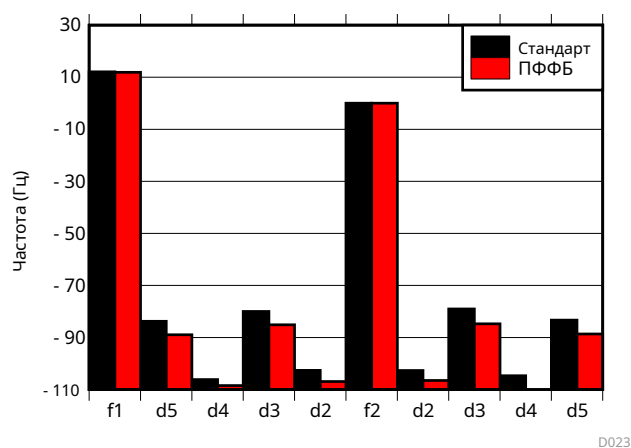


Рисунок 32. SMPTE IMD - ТРА3244 на 10 Вт.

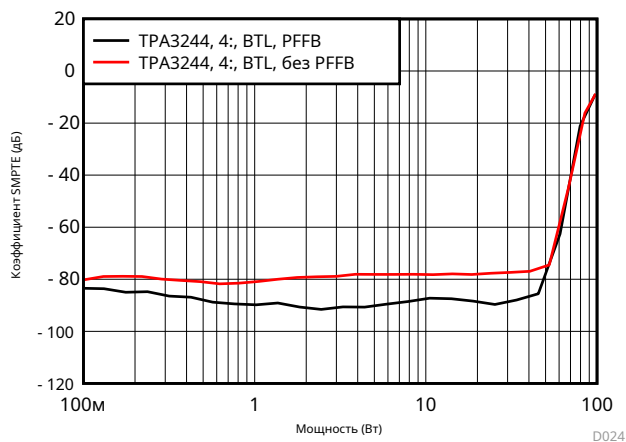


Рисунок 33. Соотношение SMPTE в зависимости от выходной мощности.

A.5 TPA3244 Коэффициент произведения искажений CCIF

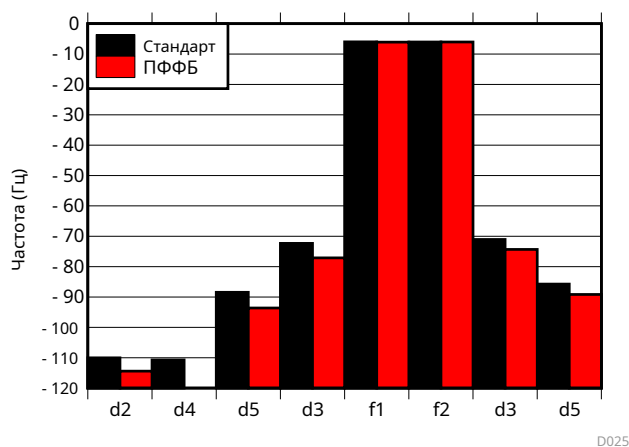


Рис 34. CCIF IMD - TPA3244 при 1 Вт

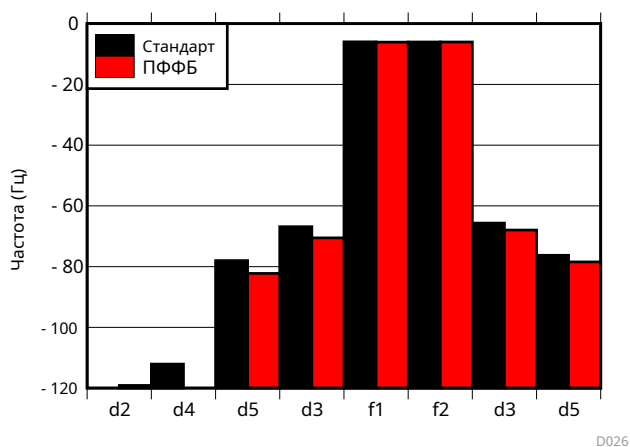


Рисунок 35. CCIF IMD - TPA3244 на 10 Вт

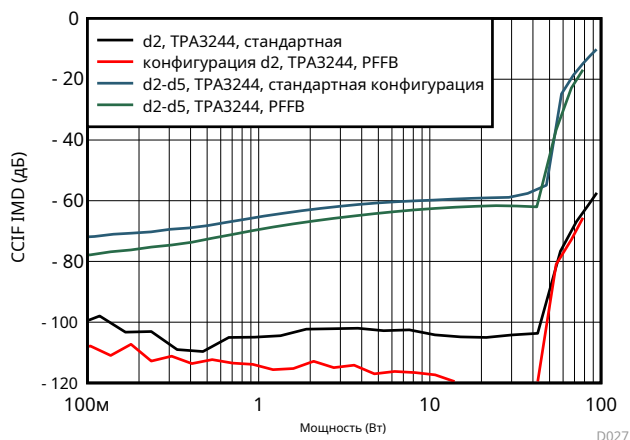


Рисунок 36. Ответ CCIF

A.6 ТРА3244 Анализ устойчивости

Таблица 22. ТРА3244 - PFFB

Нагрузка (Ω)	Перерегулирование (%)	Запас по фазе (градусы)
ПР	77,9	9,1
4	19,1	49,0
8	36,3	34,0

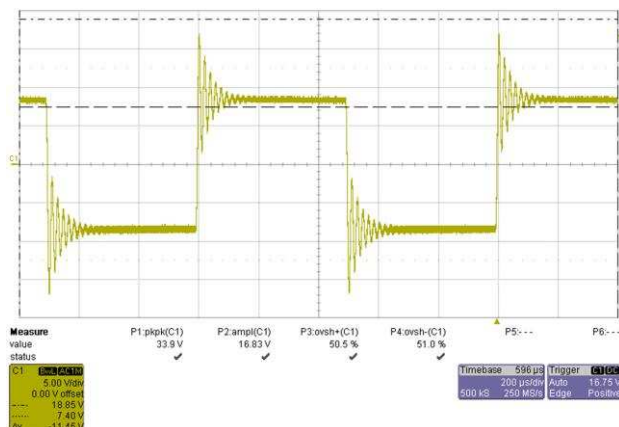


Рисунок 37. ТРА3244 PFFB - Отклик при открытой нагрузке

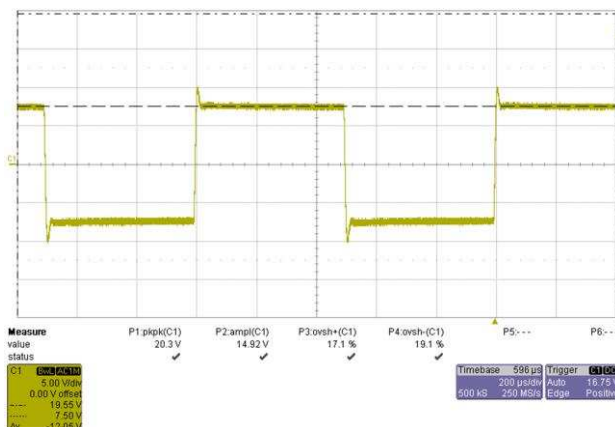


Рисунок 38. ТРА3244 PFFB - 4- Ω Ответ

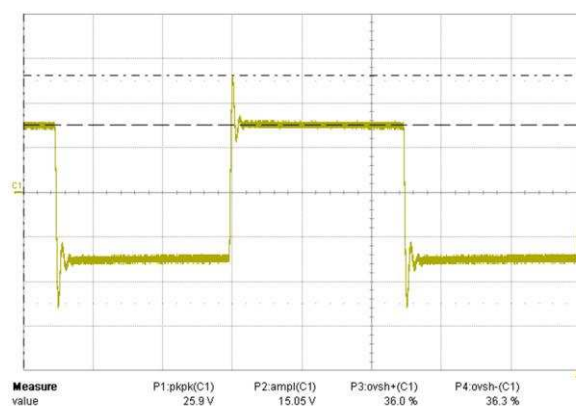


Рисунок 39. ТРА3244 PFFB - 8- Ω Ответ

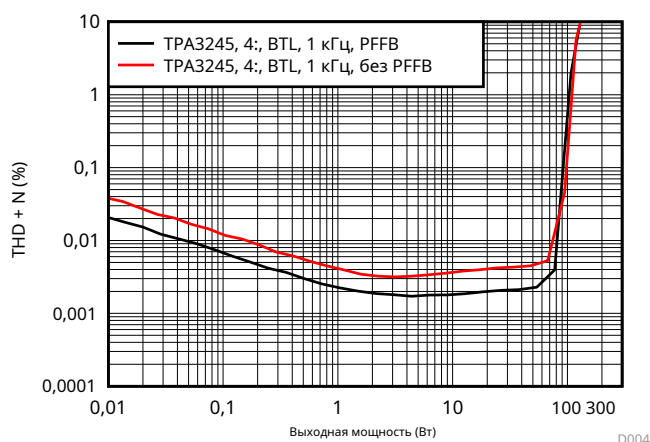
TPA3245

В.1 TPA3245 EVM PFFB Результаты испытаний

Таблица 23. Резюме TPA3245

Параметр	Стандарт	ПФФБ
Усиление (дБ)	18	11,8
Отрицательная обратная связь (дБ)	0	6,2
Выходной шум (мкВ) А-взвешенный	54,4	28,7
SNR (дБ) А-взвешенный	- 111,5	- 116,8
DNR (дБ) А-взвешенный	- 111,5	- 116,9

БИ 2 THD + N против мощности



Фигура 40. THD + N в зависимости от мощности на 1 кГц.

Таблица 24. TPA3245: вход 1 кГц

Выходная мощность	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 68,383	- 73,669	- 5,28
0,1	- 78,305	- 83 263	- 4,958
1	- 87,610	- 92 844	- 5,234
10	- 88,768	- 94 845	- 6,076

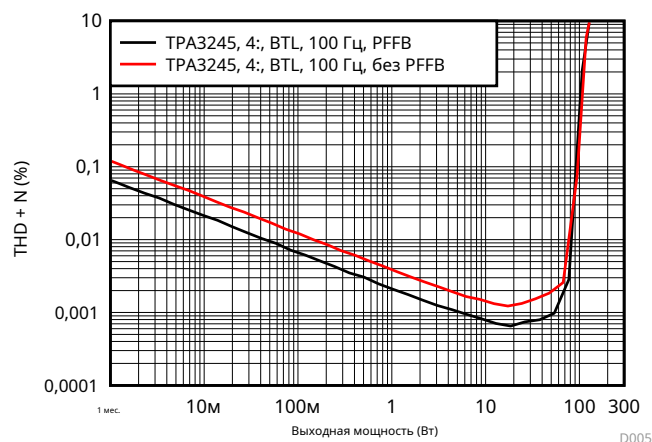


Рисунок 41. THD + N в зависимости от мощности при 100 Гц.

Таблица 25. ТРА3245: вход 100 Гц

Выходная мощность	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 68,211	- 73,418	- 5,208
0,1	- 78 243	- 83 479	- 5,236
1	- 88,141	- 93,446	- 5,304
10	- 96,802	- 102,021	- 5,219

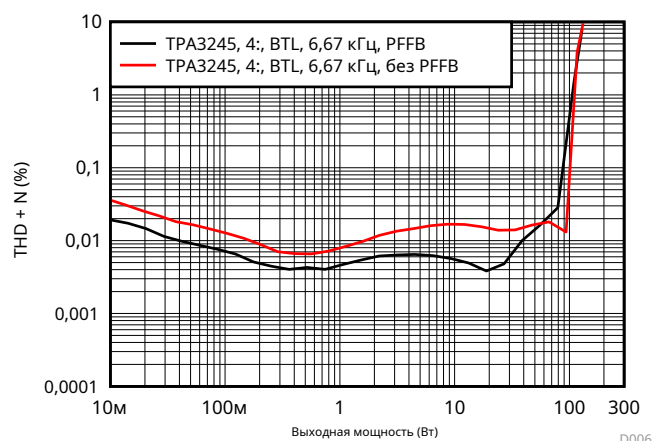


Рисунок 42. THD + N в зависимости от мощности на 6,67 кГц.

Таблица 26. ТРА3245: вход 6,67 кГц

Выходная мощность	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 68 830	- 74,306	- 5,476
0,1	- 77 840	- 82 860	- 5,020
1	- 82,050	- 86,783	- 4,733
10	- 75,523	- 85,115	- 9,592

B.3 THD + N в зависимости от частоты

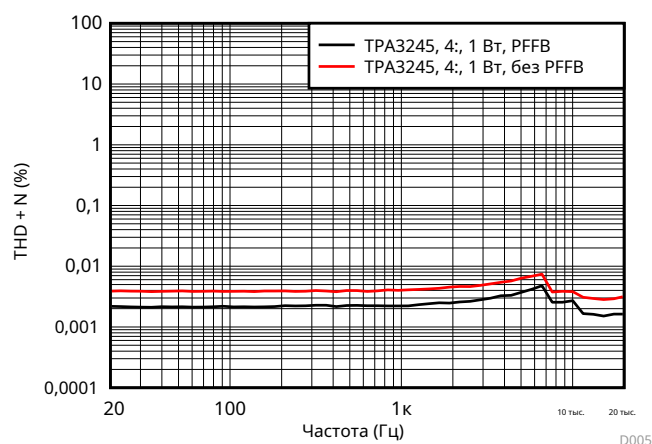


Рисунок 43. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 27. ТРА3245: 1 Вт

Частота	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 88,199	- 93,202	- 5,003
100	- 88 284	- 93 329	- 5,045
1000	- 87,888	- 93,063	- 5,176
10000	- 88 355	- 91 359	- 3,003
15000	- 90,919	- 96,330	- 5,411

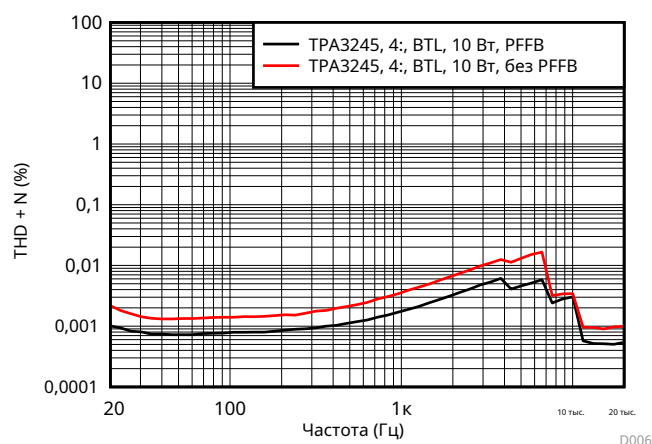


Рисунок 44. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт.

Таблица 28. ТРА3245: 10 Вт

Частота	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 93,255	- 99 900	- 6,645
100	- 97,083	- 102,088	- 5,005
1000	- 88,966	- 95,103	- 6,137
10000	- 82 290	- 90,367	- 1,077
15000	- 100 874	- 105,783	- 4,908

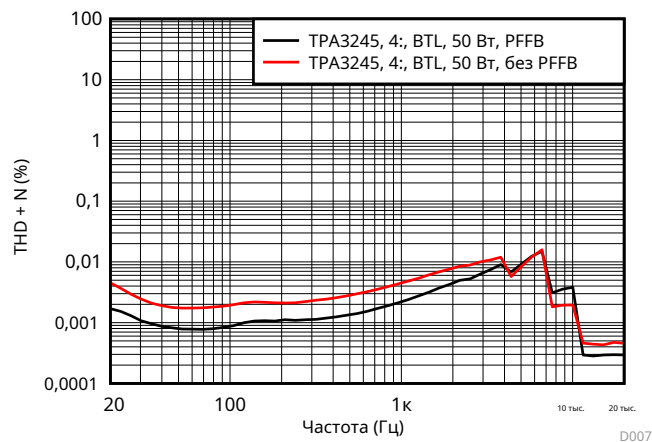


Рисунок 45. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 29. TPA3245: 50 Вт

Частота	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
20	- 86,882	- 95,380	- 8,498
100	- 94,246	- 101,191	- 6,945
1000	- 86,941	- 93,134	- 6,193
10000	- 94,173	- 88,351	- 5,823
15000	- 107,281	- 110,676	- 3,395

B.4 TPA3245 - искажение SMPTE Соотношение продукта

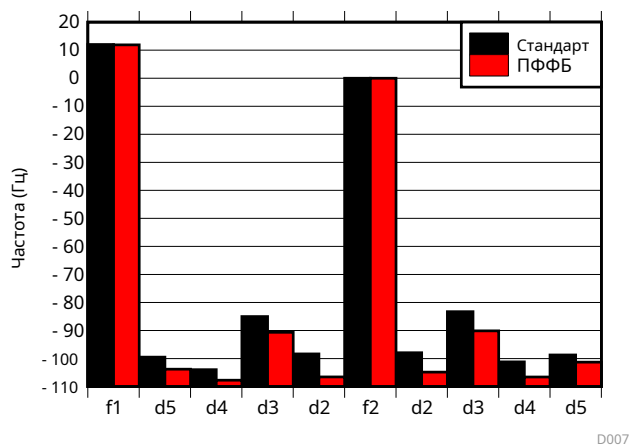


Рисунок 46. Коэффициент произведения искажений IMD SMPTE при 1 Вт.

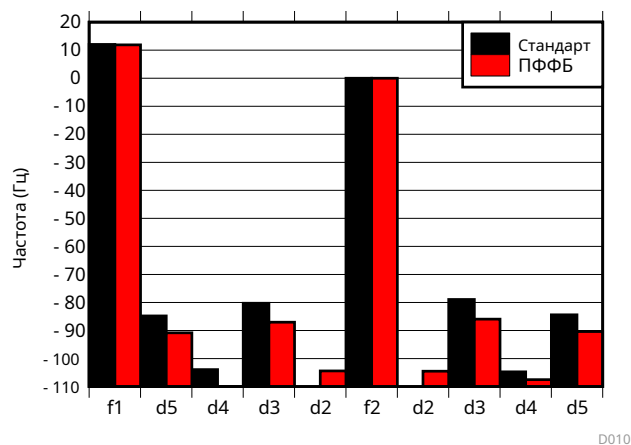


Рисунок 47. Коэффициент нелинейных искажений SMPTE IMD при 10 Вт.

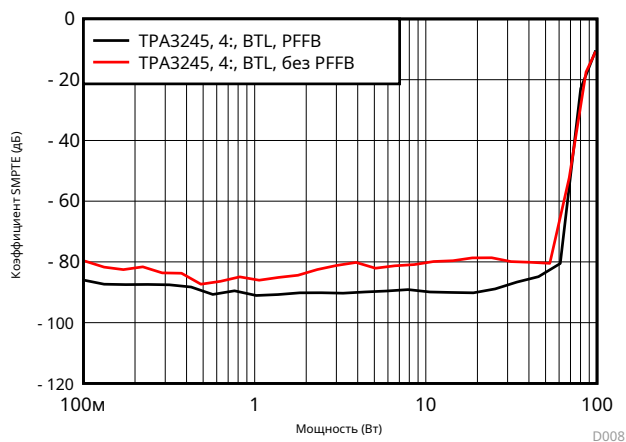


Рисунок 48. SMPTE IMD. против силы

B.5 TPA3245 - Коэффициент искажения CCIF

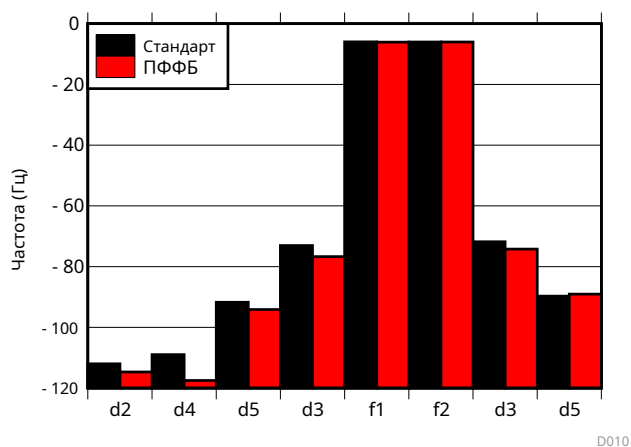


Рисунок 49. Продукт искажения интермодуляционных искажений CCIF.

Соотношение при 1 Вт

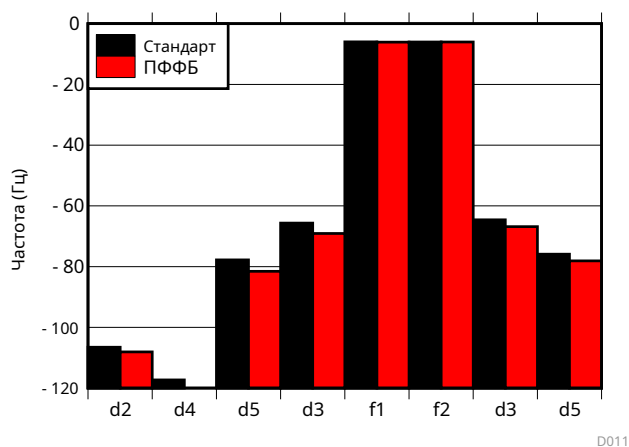


Рисунок 50. Коэффициент произведения искажения интермодуляционных искажений CCIF при 10 Вт.

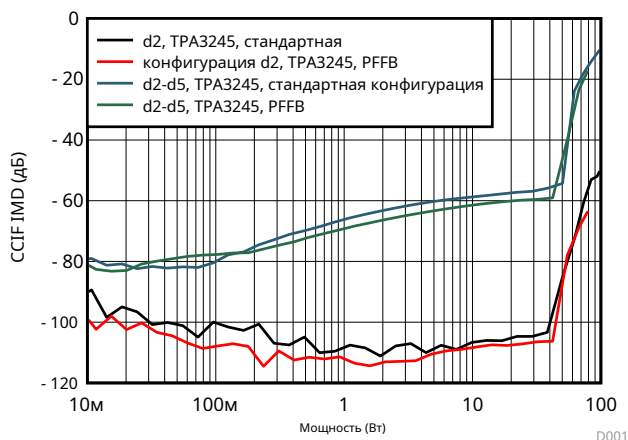


Рисунок 51. CCIF IMD в зависимости от мощности

В.6 ТРА3245 Анализ стабильности

Таблица 30. ТРА3245 - PFFB

Нагрузка (Ω)	Перерегулирование (%)	Запас по фазе (градусы)
ПР	73,0	11,4
4	18,1	50,0
8	35,0	35,0

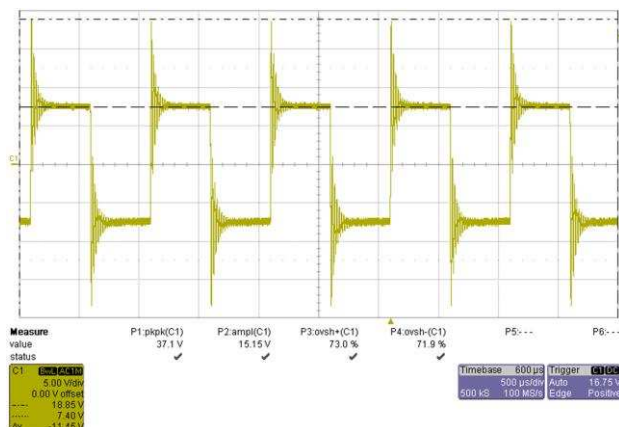


Рисунок 52. ТРА3245 PFFB - Отклик при открытой нагрузке

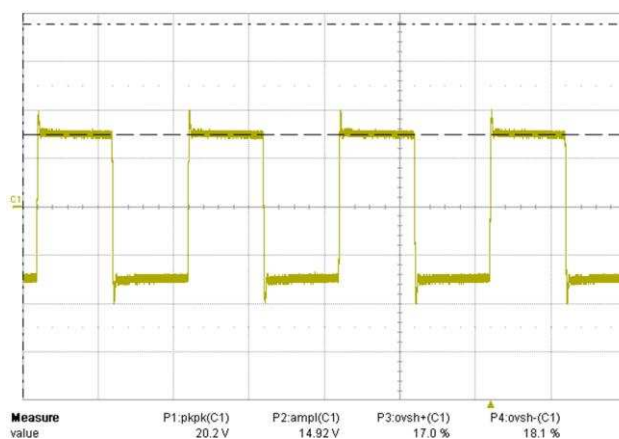


Рисунок 53. ТРА3245 PFFB - 4- Ω Ответ

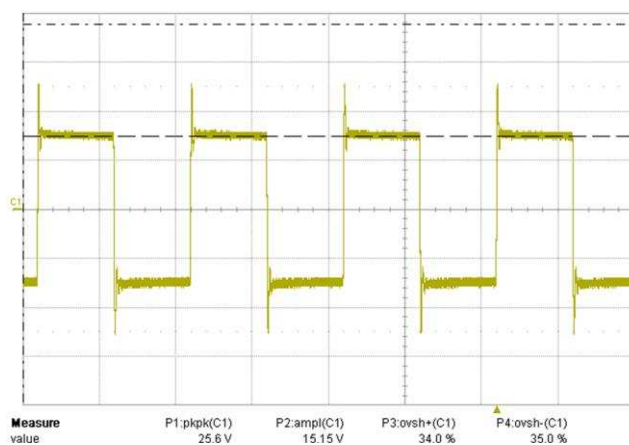


Рисунок 54. ТРА3245 PFFB - 8- Ω Ответ

TPA3250

С.1 TPA3250 EVM PFFB Результаты испытаний

Таблица 31. Сводка TPA3245

Параметр	Стандарт	ПФФБ
Усиление (дБ)	20	12,75
Отрицательная обратная связь (дБ)	0	7,25
Выходной шум (мкВ) А-взвешенный	62,7	30,5
SNR (дБ) А-взвешенный	- 111,3	- 117,4
DNR (дБ) А-взвешенный	- 111,1	- 117,5

С.2 TPA3250 THD + N против мощности

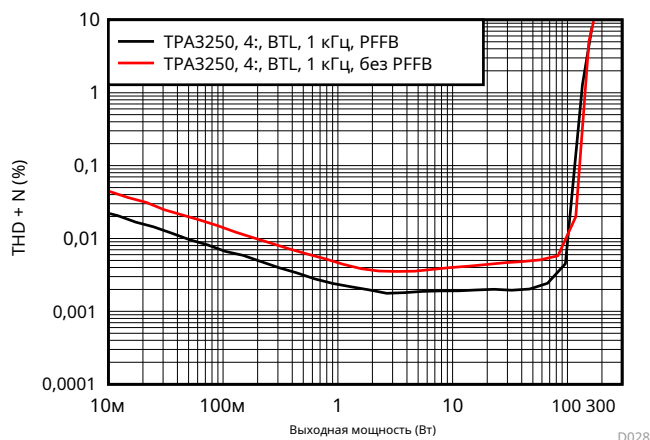


Рисунок 55. THD + N в зависимости от мощности на 1 кГц.

Таблица 32. TPA3250: вход 1 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 66,926	- 72,981	- 6,055
0,1	- 76,911	- 83 258	- 6,348
1	- 86,555	- 92,542	- 5,987
10	- 87,940	- 94 371	- 6,432

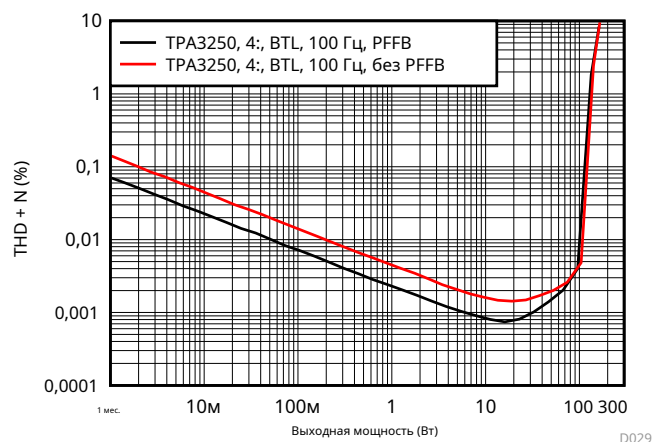


Рисунок 56. THD + N в зависимости от мощности при 100 Гц.

Таблица 33. TPA3250: вход 100 Гц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 66,918	- 72,774	- 5,856
0,1	- 76,941	- 82,786	- 5,845
1	- 86,885	- 92,682	- 5,797
10	- 95 880	- 101,513	- 5,633

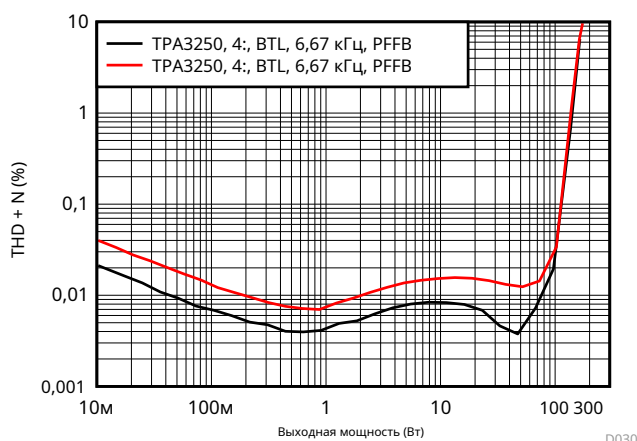


Рисунок 57. THD + N в зависимости от мощности при 6,67 кГц

Таблица 34. TPA3250: вход 6,67 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 67,796	- 73 258	- 5,462
0,1	- 77 577	- 83,145	- 5,568
1	- 82,605	- 87,324	- 4,719
10	- 76,296	- 81,575	- 5,279

С.3 ТРА3250 THD + N в зависимости от частоты

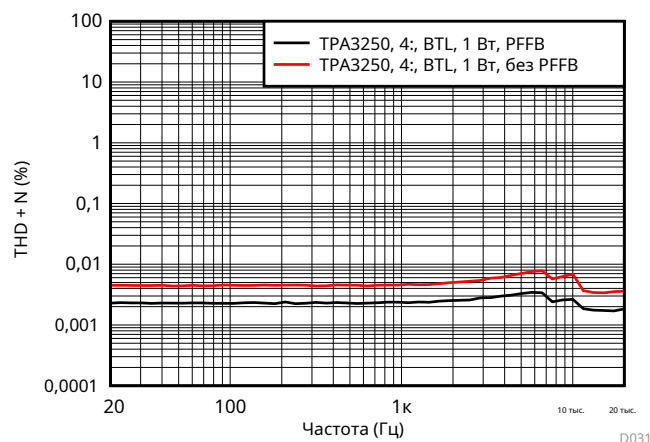


Рисунок 58. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 35. ТРА3250: 1 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 86,917	- 92,803	- 5,885
100	- 86,898	- 92,881	- 5,983
1000	- 86,771	- 92,529	- 5,759
10000	- 83,247	- 91,568	- 8,321
15000	- 89,403	- 95 218	- 5,815

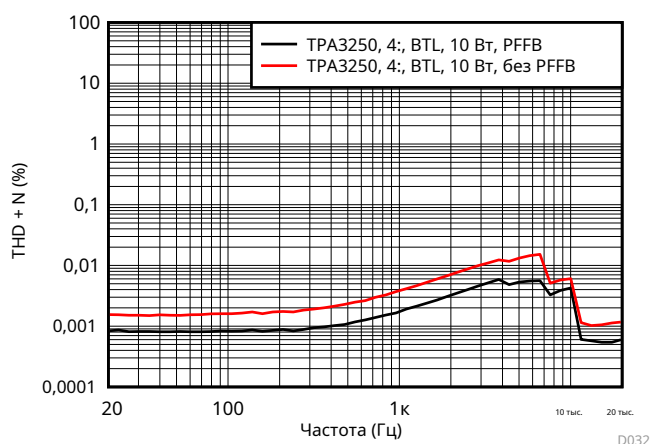


Рисунок 59. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт.

Таблица 36. ТРА3250: 10 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 96,172	- 101,561	- 5,388
100	- 95 899	- 101,641	- 5,742
1000	- 88,297	- 95,230	- 6,933
10000	- 84,369	- 87 426	- 3,057
15000	- 99,568	- 105,261	- 5,693

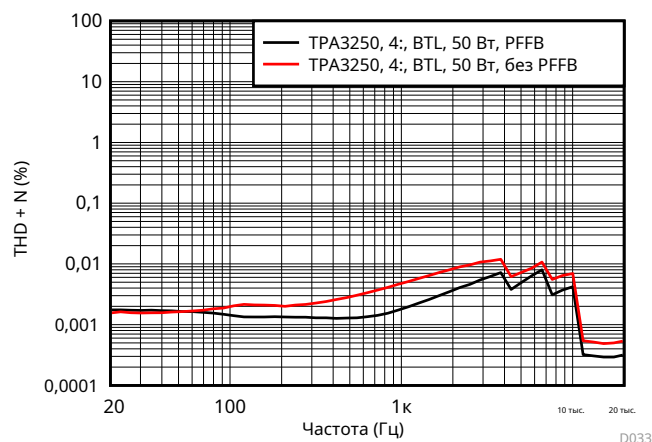


Рисунок 60. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 37. TPA3245: 50 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 96,174	- 95,165	1,009
100	- 94,061	- 96 871	- 2,810
1000	- 86 436	- 94 864	- 8,428
10000	- 83,185	- 87,548	- 4,363
15000	- 106,203	- 110,651	- 4,448

C.4 TPA3250 - искажение SMPTE Соотношение продукта

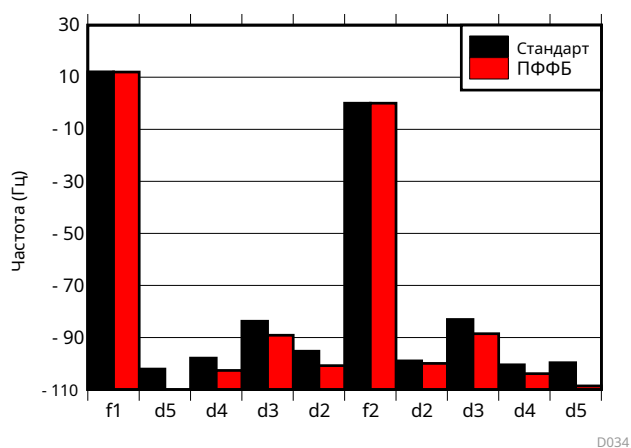


Рисунок 61. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 1 Вт.

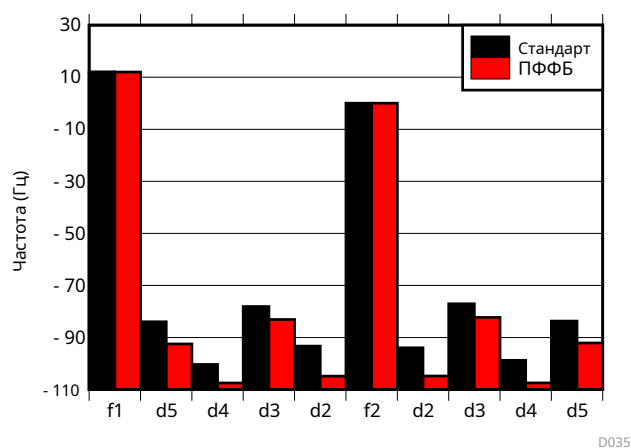


Рисунок 62. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 10 Вт.

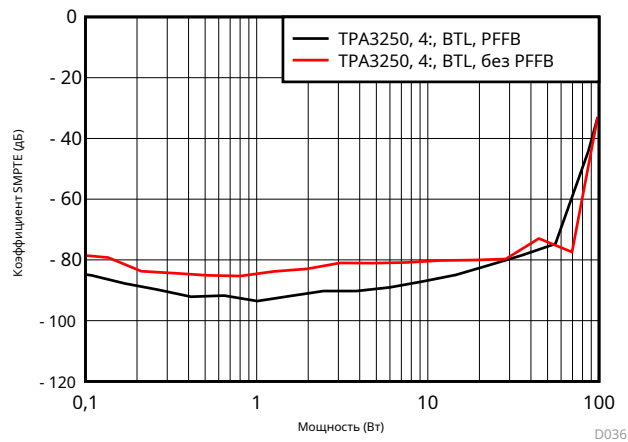


Рисунок 63. SMPTE IMD против силы

C.5 TPA3250 - Коэффициент искажения CCIF

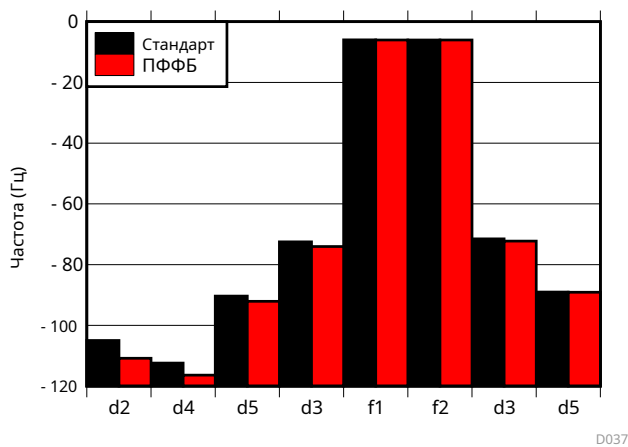


Рисунок 64. Продукт искажения интермодуляционных искажений CCIF.

Соотношение при 1 Вт

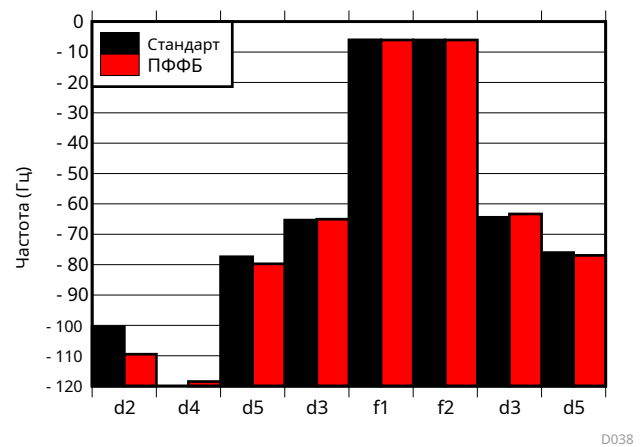


Рисунок 65. Коэффициент произведения искажения интермодуляционных искажений CCIF при 10 Вт.

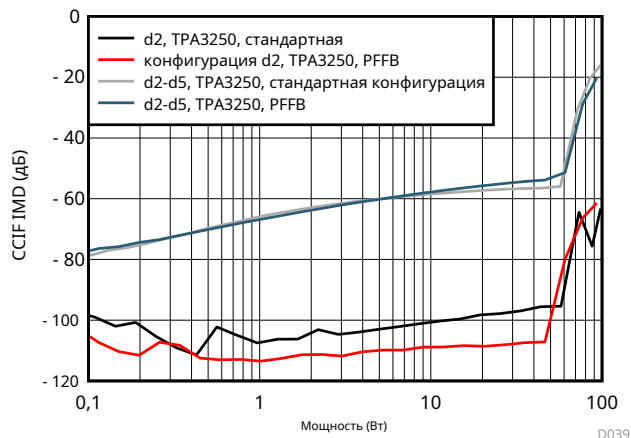


Рисунок 66. CCIF IMD в зависимости от мощности

С.6 ТРА3250 Анализ стабильности

Таблица 38. ТРА3250 - PFFB

Нагрузка (Ω)	Перерегулирование (%)	Запас по фазе (градусы)
ПР	51,0	23,7
4	18,4	49,7
8	29,5	39,5

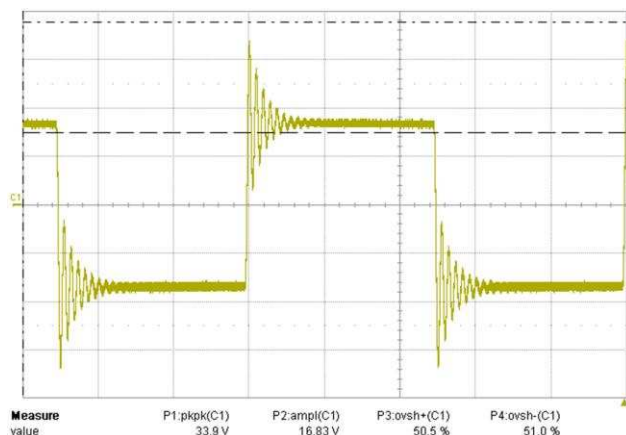


Рисунок 67. ТРА3250 PFFB - Отклик при открытой нагрузке

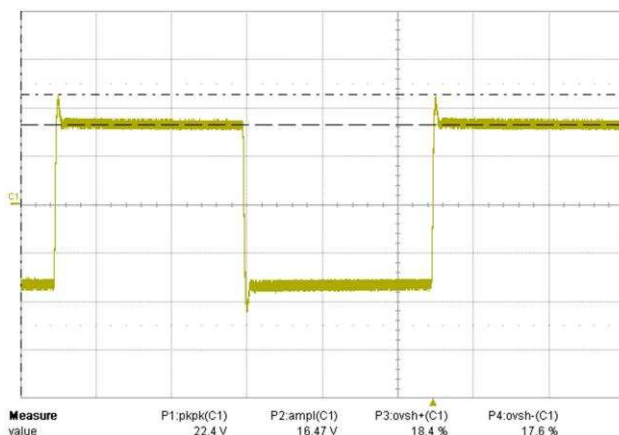


Рисунок 68. ТРА3250 PFFB - 4-Ω Ответ

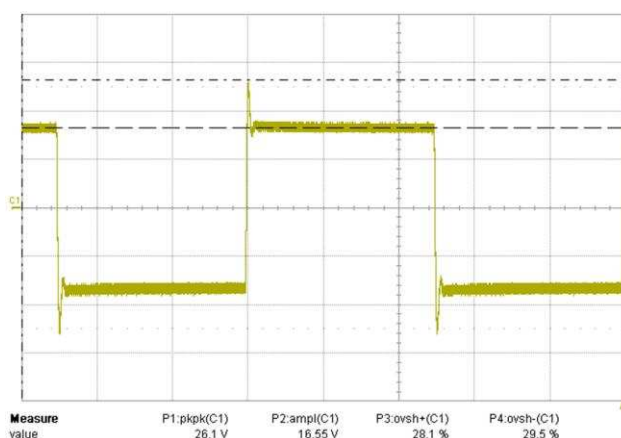


Рисунок 69. ТРА3250 PFFB - 8-Ω Ответ

TPA3251

D.1 TPA3251 EVM PFFB Результаты испытаний

Таблица 39. Сводка TPA3251

Параметр	Стандарт	ПФФБ
Усиление (дБ)	20	12,75
Отрицательная обратная связь (дБ)	0	7,25
Выходной шум (мкВ) А-взвешенный	61,4	28,3
SNR (дБ) А-взвешенный	- 111,8	- 117,8
DNR (дБ) А-взвешенный	- 111,6	- 117,6

D.2 TPA3251 THD + N против мощности

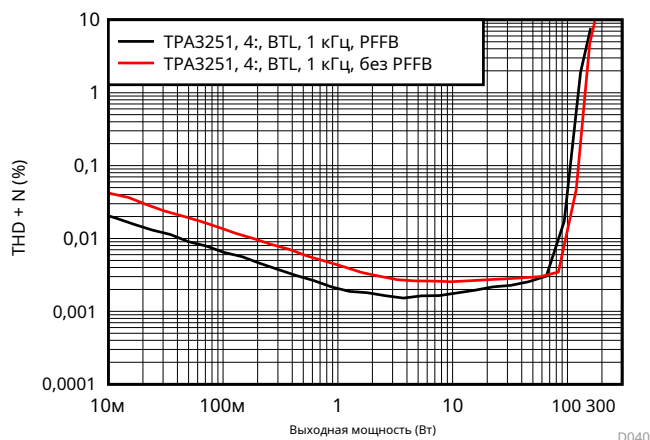
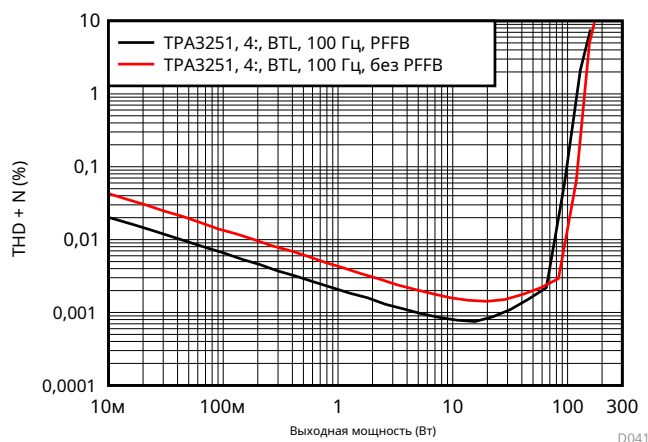


Рисунок 70. THD + N в зависимости от мощности на 1 кГц.

Таблица 40. TPA3251: вход 1 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 67,339	- 73,622	- 6,283
0,1	- 77 261	- 83,708	- 6,447
1	- 87,187	- 93,660	- 6,473
10	- 91 852	- 95,140	- 3,288



Фигура 71. THD + N против мощности на 100 Гц

Таблица 41. ТРА3251: вход 100 Гц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 67,305	- 73,801	- 6,496
0,1	- 77 372	- 83,615	- 6,243
1	- 87 228	- 93,610	- 6,382
10	- 96,038	- 101,894	- 5,856

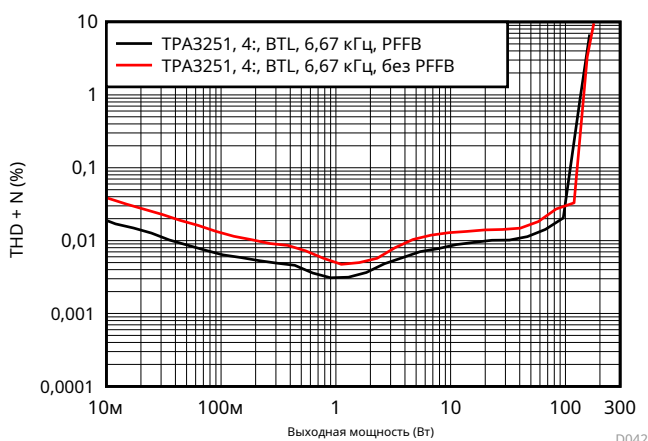


Рисунок 72. THD + N в зависимости от мощности при 6,67 кГц

Таблица 42. ТРА3251: вход 6,67 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 68.200	- 74,304	- 6,104
0,1	- 77,788	- 83,742	- 5,954
1	- 85,894	- 90,153	- 4,258
10	- 77,789	- 81,460	- 3,670

D.3 THD + N в зависимости от частоты

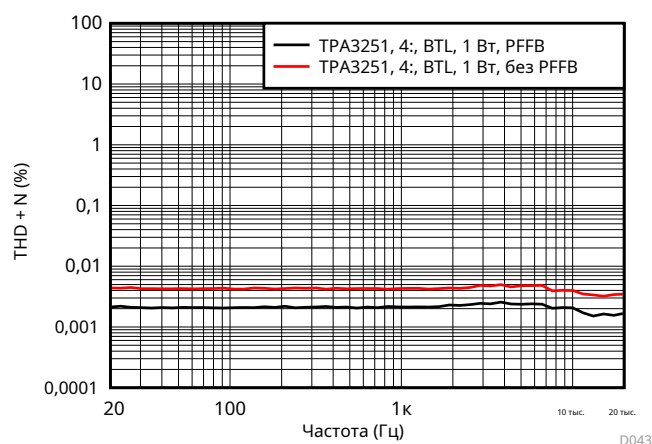


Рисунок 73. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 43. TPA3251: 1 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 87,132	- 93,440	- 6,308
100	- 87,398	- 93,682	- 6,284
1000	- 87,331	- 93,405	- 6,074
10000	- 88,003	- 93,690	- 5,687
15000	- 89 834	- 95,767	- 5,933

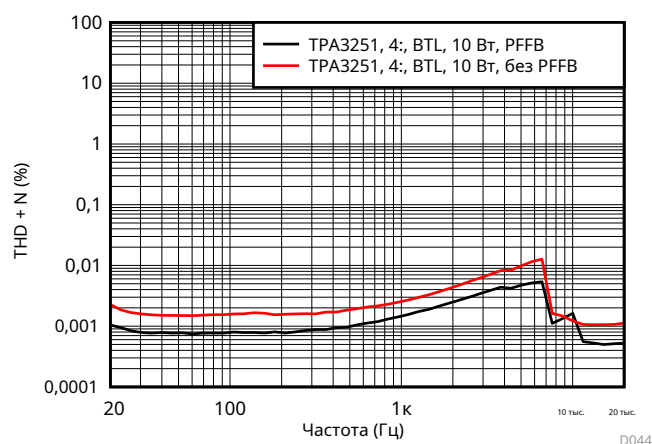


Рисунок 74. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт.

Таблица 44. TPA3251: 10 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 92,789	- 99,585	- 6,796
100	- 96,070	- 102,051	- 5,981
1000	- 91,882	- 96,705	- 4,823
10000	- 98,215	- 95,809	2,406
15000	- 99 487	- 106,007	- 6,520

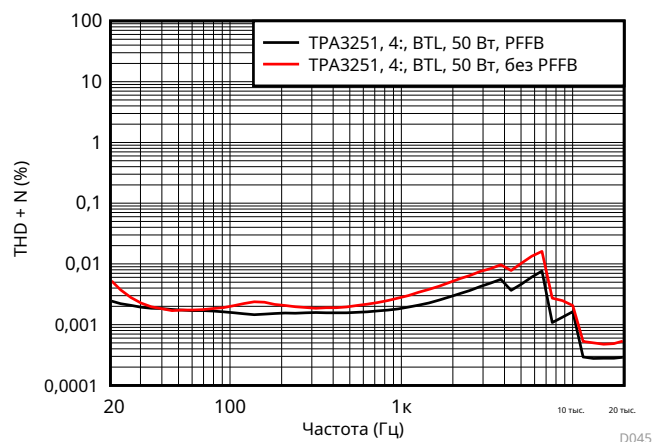


Рисунок 75. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 45. TPA3251: 50 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 85,180	- 92,110	- 6,930
100	- 93,986	- 95,960	- 1,974
1000	- 90,983	- 94 627	- 3,644
10000	- 93,689	- 95,777	- 2,088
15000	- 106,407	- 111,074	- 4,667

D.4 TPA3251 - SMPTE Искажение Соотношение продукта

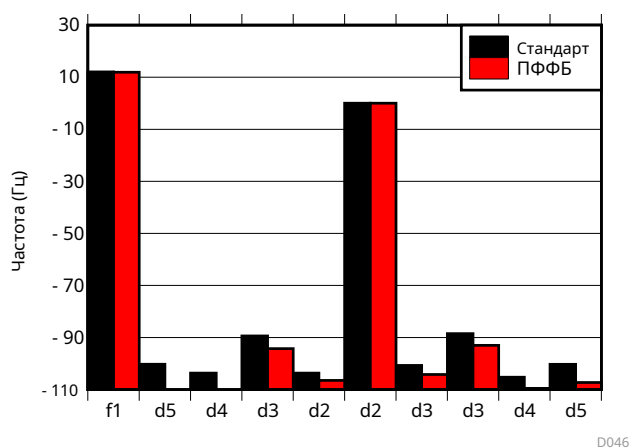


Рисунок 76. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 1 Вт.

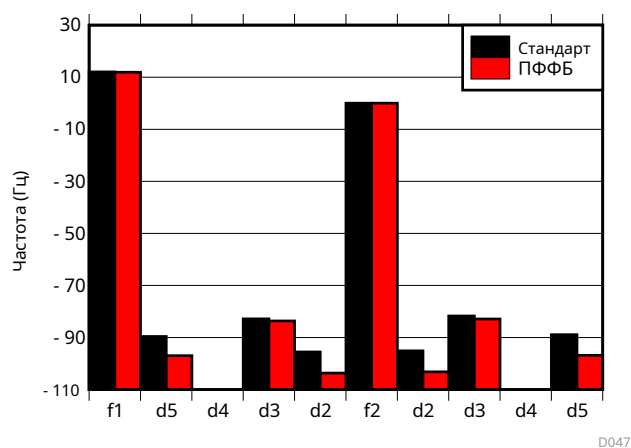


Рисунок 77. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 10 Вт.

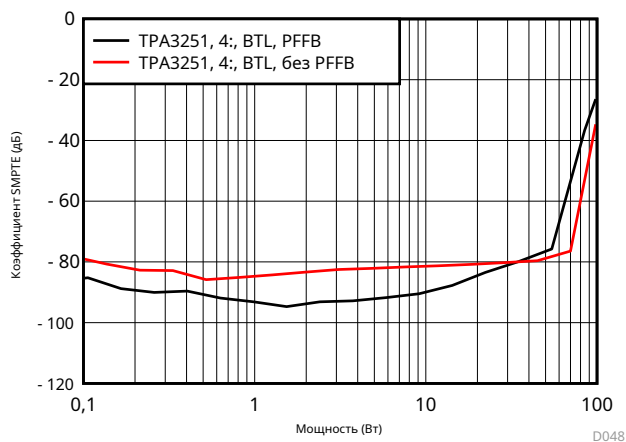


Рисунок 78. SMPTE IMD. против силы

D.5 TPA3251 - Коэффициент искажения CCIF

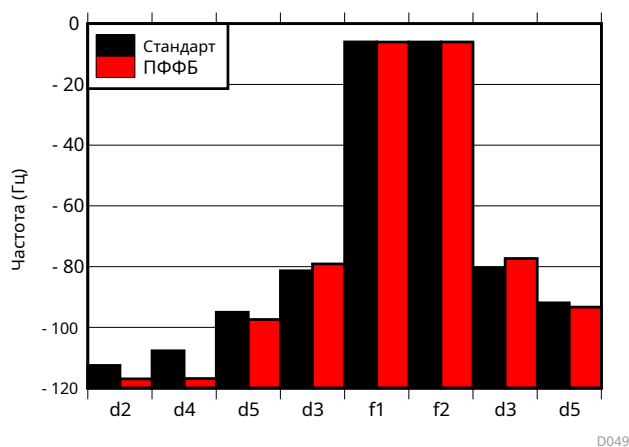


Рисунок 79. Продукт искажения интермодуляционных искажений CCIF.

Соотношение при 1 Вт

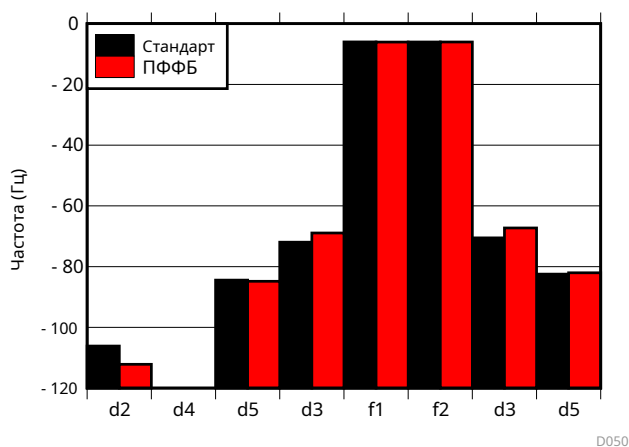


Рисунок 80. Коэффициент произведения искажения интермодуляционных искажений CCIF при 10 Вт.

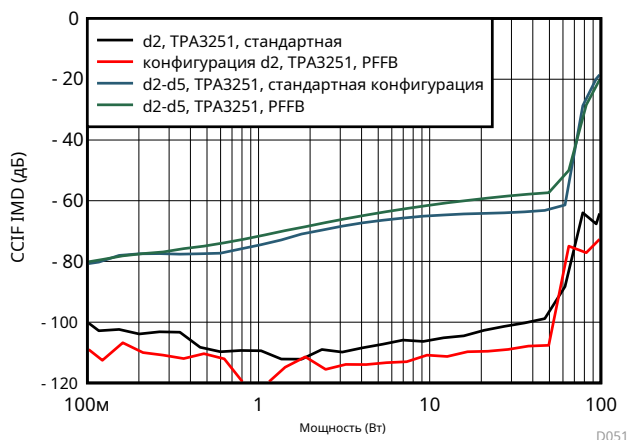


Рисунок 81. CCIF IMD в зависимости от мощности

D.6 ТРА3251 Анализ устойчивости

Таблица 46. ТРА3245 - PFFB

Нагрузка (Ω)	Перерегулирование (%)	Запас по фазе (градусы)
ПР	59,8	18,3
4	18,4	49,7
8	29,5	39,5

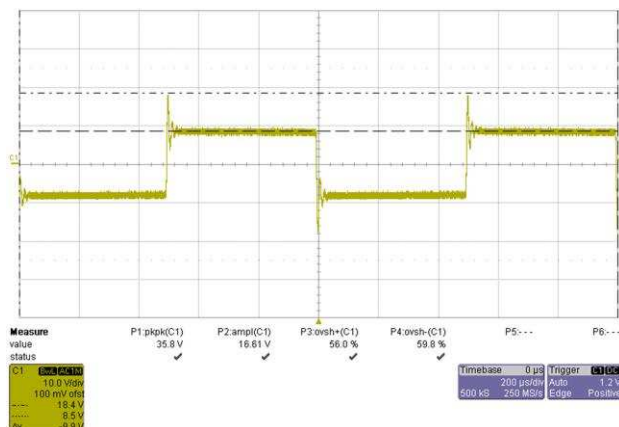


Рисунок 82. ТРА3251 PFFB - Отклик при открытой нагрузке

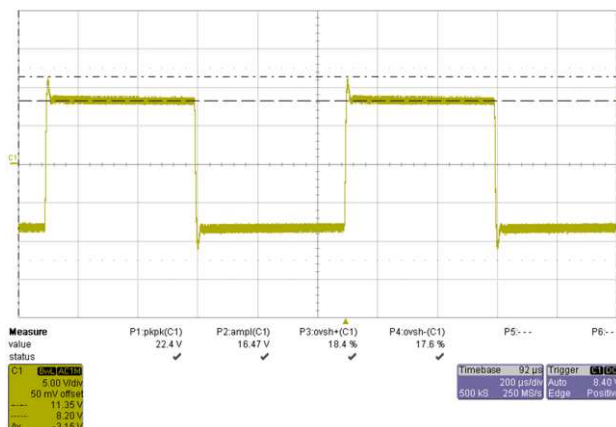


Рисунок 83. ТРА3251 PFFB - 4-Ω Ответ

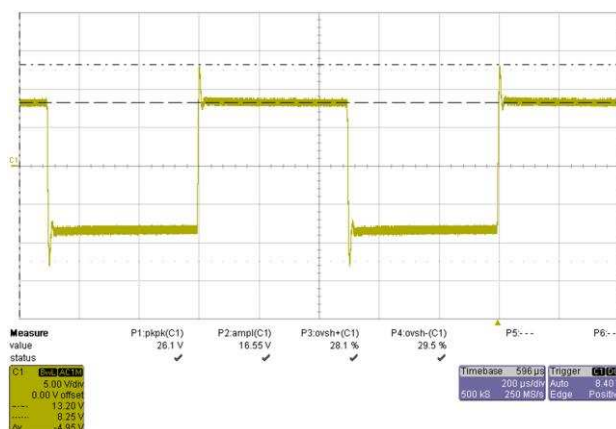


Рисунок 84. ТРА3251 PFFB - 8-Ω Ответ

TPA3255

E.1 TPA3255 EVM PFFB Результаты испытаний

Таблица 47. Сводка TPA3255

Параметр	Стандарт	ПФФБ
Усиление (дБ)	21,5	15,9
Отрицательная обратная связь (дБ)	0	5,6
Выходной шум (мкВ) А-взвешенный	81,5	46,2
SNR (дБ) А-взвешенный	- 111,9	- 116,5
DNR (дБ) А-взвешенный	- 111,9	- 116,5

E.2 TPA3255 THD + N против мощности

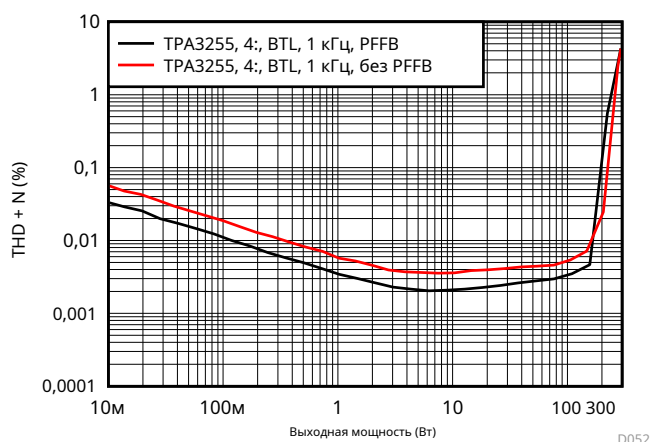
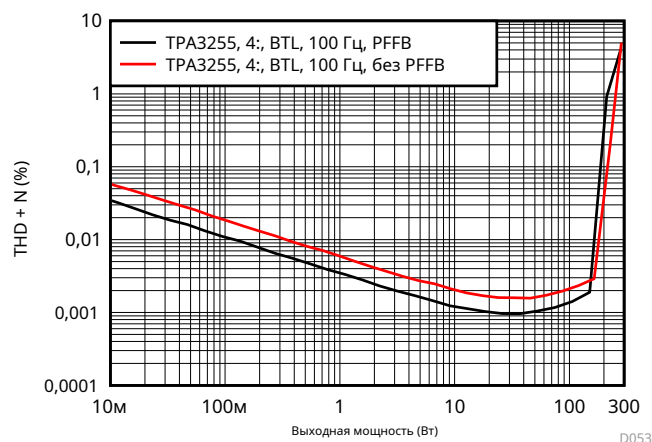


Рисунок 85. THD + N в зависимости от мощности на 1 кГц.

Таблица 48. TPA3255: вход 1 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
0,01	- 64,882	- 69,511	- 4,630
0,1	- 74,564	- 78 990	- 4,426
1	- 84,682	- 89,125	- 4,443
10	- 88,905	- 93,545	- 4,640
100	- 85,619	- 89,501	- 3,882



Фигура 86. THD + N против мощности на 100 Гц

Таблица 49. TPA3255: вход 100 Гц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 64,597	- 69,091	- 4,494
0,1	- 74,605	- 79,294	- 4,690
1	- 84,516	- 89,081	- 4,564
10	- 93,713	- 98,335	- 4,622
100	- 93 498	- 97 274	- 3,776

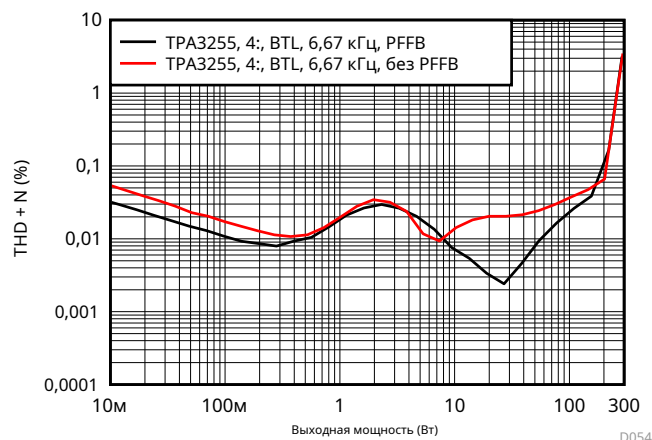


Рисунок 87. THD + N в зависимости от мощности на 6,67 кГц.

Таблица 50. TPA3255: вход 6,67 кГц

Выходная мощность (Вт)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
0,01	- 65 289	- 69,784	- 4,495
0,1	- 75,323	- 79,352	- 4,029
1	- 74,158	- 74,714	- 0,556
10	- 77 214	- 82,780	- 5,565
100	- 68,772	- 72,664	- 3,892

E.3 THD + N в зависимости от частоты

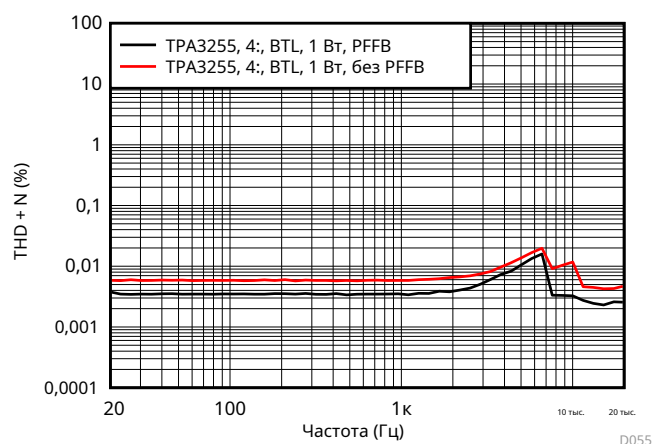


Рисунок 88. THD + N в зависимости от частоты при 1 Вт.

Таблица 51. TPA3255: 1 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 84 620	- 88 456	- 3,836
100	- 84 644	- 89,132	- 4,488
1000	- 84,682	- 89,176	- 4,494
10000	- 78,621	- 89,730	- 11.109
15000	- 87 372	- 92,690	- 5,319

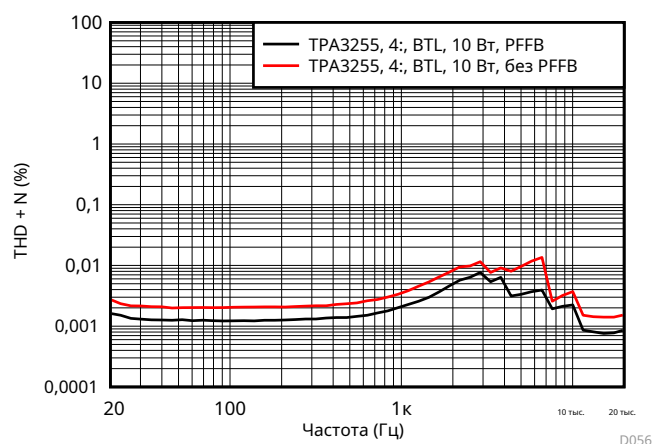


Рисунок 89. THD + N в зависимости от частоты при 10 Вт.

Таблица 52. TPA3255: 10 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФФБ	Разница
20	- 91,195	- 95,764	- 4,569
100	- 93,794	- 98,257	- 4,464
1000	- 89,108	- 93,560	- 4,452
10000	- 88,629	- 92,993	- 4,364
15000	- 97,007	- 102,332	- 5,324

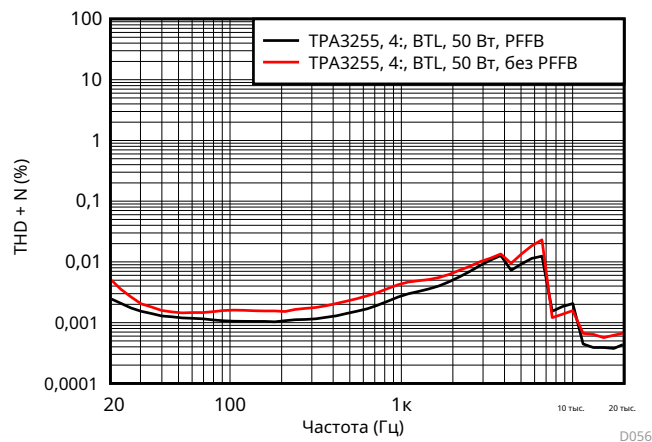


Рисунок 90. THD + N в зависимости от частоты при 50 Вт.

Таблица 53. TPA3255: 50 Вт

Частота (Гц)	THD + N (дБ)		
	Стандартный EVM	ПФБ	Разница
20	- 85,610	- 92,025	- 6,415
100	- 95,919	- 99,465	- 3,545
1000	- 87,237	- 91,221	- 3,984
10000	- 96,057	- 93,741	2,316
15000	- 104 838	- 108,176	- 3,338

E.4 TPA3255 - искажение SMPTE Соотношение продукта

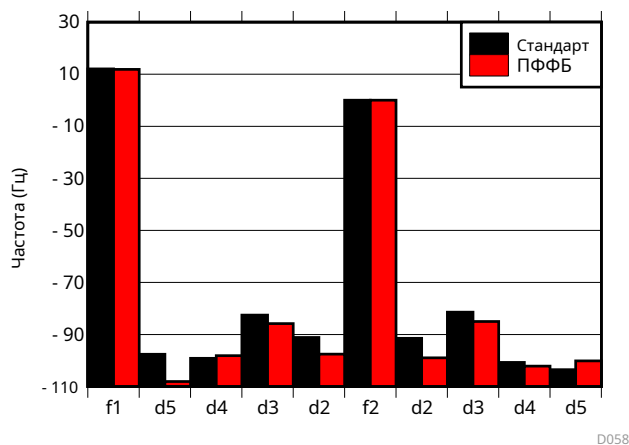


Рисунок 91. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 1 Вт.

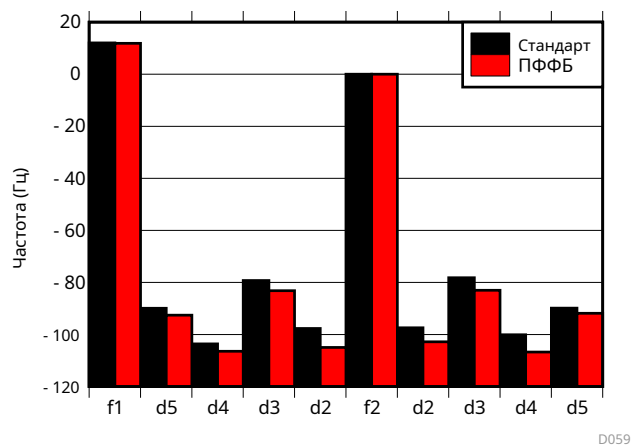


Рисунок 92. Коэффициент произведения искажений интермодуляционных искажений SMPTE при 10 Вт.

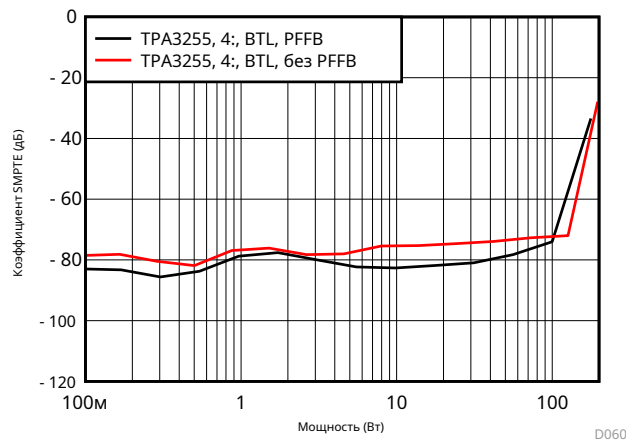


Рисунок 93. IMD SMPTE в зависимости от мощности.

E.5 TPA3245 - Коэффициент искажения CCIF

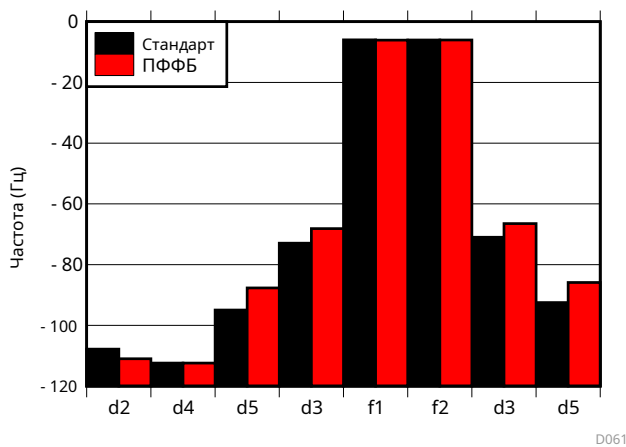


Рисунок 94. Продукт искажения интермодуляционных искажений CCIF.

Соотношение при 1 Вт

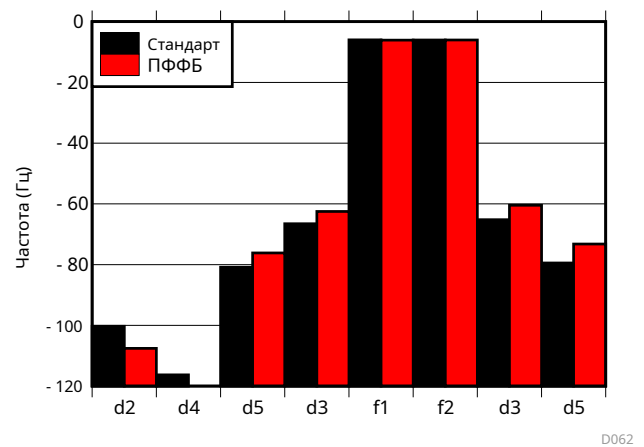


Рисунок 95. Коэффициент произведения искажения интермодуляционных искажений CCIF при 10 Вт.

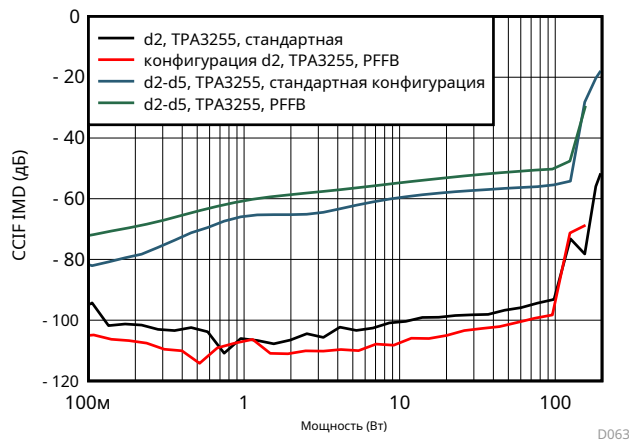


Рисунок 96. CCIF IMD в зависимости от мощности

E.6 ТРА3255 Анализ стабильности

Таблица 54. ТРА3255 - ПФФБ

Нагрузка (Ω)	Перерегулирование (%)	Запас по фазе (градусы)
ПР	78,4	8,8
4	16,3	51,8
8	35,0	35,0

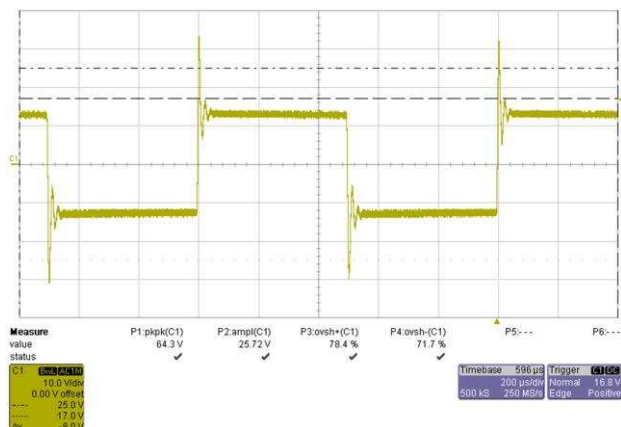


Рисунок 97. ТРА3255 PFB - Отклик при открытой нагрузке

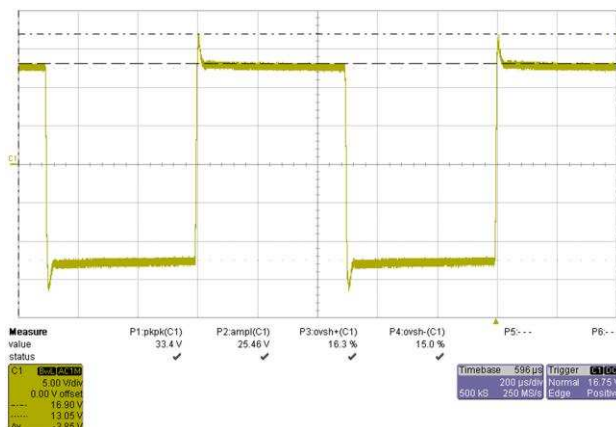


Рисунок 98. ТРА3255 PFB - 8-Ω Ответ

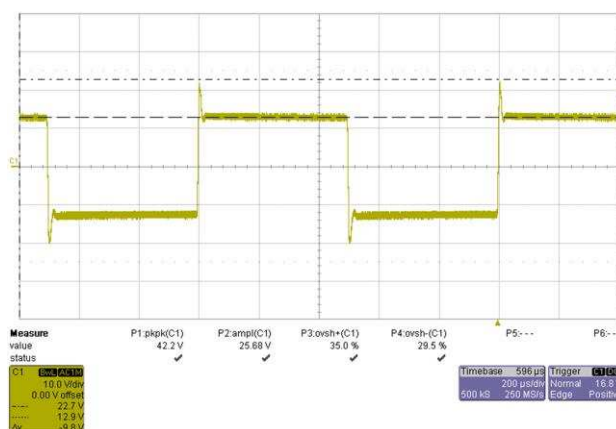


Рисунок 99. ТРА3255 PFB - 8-Ω Ответ

лист регистраций изменений

ПРИМЕЧАНИЕ. Номера страниц для предыдущих версий могут отличаться от номеров страниц в текущей версии.

Изменения с оригинала (сентябрь 2017 г.) на редакцию
Страница

• Изменен столбец ТРА3244 и ТРА3245 с «PVDD = 31,5» на «PVDD = 30 В» в Таблица 1, Таблица 2, Таблица 3, Таблица 4, Изменен а также Таблица 5.....	4
• столбец ТРА3244 с «Fpwm = kHz» на «Fpwm = 450 kHz» в Таблица 1, Таблица 2, Таблица 3, Таблица 4, а также Таблица 5.	4
• Изменены значения C_out с мкГн на мкФ	4
• Изменено TND + N на THD + N в Сравнение THD + N и силового индуктора	5
• Исправленный THD + N и сравнение силовых индукторов легенда	5
• Заменено "с PVDD = 31,5 В" на "с PVDD = 30 В" в Раздел 7.....	7
• Переключены значения «Стандартный EVM» и «PFFB» в Таблица 6, Таблица 7, Таблица 8, Таблица 9, Таблица 10, Таблица 11, Таблица 16, Таблица 17, Таблица 18, Таблица 19, Таблица 20, Таблица 21, Таблица 24, Таблица 25, Таблица 26, Таблица 27, Таблица 28, Таблица 29, Таблица 32, Таблица 33, Таблица 34, Таблица 35, Таблица 36, Таблица 37, Таблица 40, Таблица 41, Таблица 42, Таблица 43, Таблица 44, Таблица 45, Таблица 48, Таблица 49, Таблица 50, Таблица 51, Таблица 52, а также Таблица 53.....	7

ВАЖНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ ДЛЯ ДИЗАЙН-ИНФОРМАЦИИ И РЕСУРСОВ TI

Технические, прикладные или другие советы, услуги или информация по проектированию Texas Instruments Incorporated («TI»), включая, помимо прочего, эталонные проекты и материалы, относящиеся к оценочным модулям (совместно именуемые «Ресурсы TI»), предназначены для помощи проектировщикам, которые разрабатывают приложения, включающие продукты TI; загружая, получая доступ или используя какой-либо конкретный Ресурс TI любым способом, вы (индивидуально или, если вы действуете от имени компании, своей компании) соглашаетесь использовать его исключительно для этой цели и в соответствии с условиями настоящего Уведомления.

Предоставление TI ресурсов TI не расширяет и не изменяет иным образом применимые опубликованные гарантии или отказ от гарантий на продукты TI, и никаких дополнительных обязательств или обязательств в связи с предоставлением TI ресурсов TI не возникает. TI оставляет за собой право вносить исправления, улучшения, улучшения и другие изменения в свои ресурсы TI.

Вы понимаете и соглашаетесь с тем, что по-прежнему несете ответственность за использование вашего независимого анализа, оценки и суждений при разработке своих приложений и что вы несете полную и исключительную ответственность за обеспечение безопасности ваших приложений и соответствие ваших приложений (и всех продуктов TI, используемых в или для ваших приложений) со всеми применимыми постановлениями, законами и другими применимыми требованиями. Вы заявляете, что в отношении ваших приложений у вас есть весь необходимый опыт для создания и реализации мер безопасности, которые (1) прогнозируют опасные последствия отказов, (2) отслеживают отказы и их последствия и (3) уменьшают вероятность отказов, которые могут причинить вред и предпринять соответствующие действия. Вы соглашаетесь с тем, что перед использованием или распространением любых приложений, которые включают продукты TI, вы тщательно протестируете такие приложения и функциональность таких продуктов TI, которые используются в таких приложениях. Компания TI не проводила никаких испытаний, кроме тех, которые специально описаны в опубликованной документации для конкретного ресурса TI.

Вам разрешается использовать, копировать и изменять любой отдельный Ресурс TI только в связи с разработкой приложений, которые включают продукты TI, указанные в таком Ресурсе TI. НИКАКИЕ ДРУГИЕ ЯВНЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ЛИЦЕНЗИИ КОМПАНИИ ESTORPEL ИЛИ ИНЫМ ОБРАЗОМ НА ЛЮБОЕ ДРУГОЕ ПРАВО НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ СОБСТВЕННОСТЬ, И НИКАКИЕ ЛИЦЕНЗИИ НА КАКИЕ-ЛИБО ТЕХНОЛОГИИ ИЛИ ПРАВА НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ СОБСТВЕННОСТЬ, ПРАВА TI ИЛИ ЛЮБОЙ ТРЕТЬЕЙ СТОРОНЫ, НЕ ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ НАСТОЯЩИМ любыми патентами, включая, но не ограничиваясь, маскируют право на работу или другое право интеллектуальной собственности, относящееся к любой комбинации, машине или процессу, в которых используются продукты или услуги TI. Информация о сторонних продуктах или услугах или ссылка на них не является лицензией на использование таких продуктов или услуг, а также гарантий или подтверждением их.

РЕСУРСЫ TI ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ «КАК ЕСТЬ» И СО ВСЕМИ ОШИБКАМИ. TI ОТКАЗЫВАЕТСЯ ОТ ВСЕХ ДРУГИХ ГАРАНТИЙ ИЛИ ЗАЯВЛЕНИЙ, ЯВНЫХ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ, В ОТНОШЕНИИ РЕСУРСОВ TI ИЛИ ИХ ИХ ИХ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЯСЬ ТОЧНОСТЬЮ ИЛИ ПОЛНОСТЬЮ, НАЗВАНИЕМ, ЛЮБЫМИ ГАРАНТИЯМИ НА ЭПИДЕМИЧЕСКИЙ ОТКАЗ И ЛЮБОЙ ПОДРАЗУМЕВАЕМОЙ ГАРАНТИЕЙ. НАРУШЕНИЕ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ТРЕТЬИХ ЛИЦ.

TI НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА И НЕ ОБЯЗАН ЗАЩИТИТЬ ИЛИ ОТВЕТИТЬ ВАМ ОТ ЛЮБЫХ ПРЕТЕНЗИЙ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЯСЬ, ЛЮБЫЕ ПРЕТЕНЗИИ О НАРУШЕНИИ, КОТОРЫЕ СВЯЗАНЫ ИЛИ ОСНОВАНЫ НА ЛЮБОЙ КОМБИНАЦИИ ПРОДУКТОВ, ДАЖЕ ОПИСАННОЙ В TI РЕСУРСАХ ИЛИ ДРУГИМ ОБРАЗОМ. НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ Я НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ЛЮБЫЕ ФАКТИЧЕСКИЕ, ПРЯМЫЕ, ОСОБЫЕ, ОБЕСПЕЧЕННЫЕ, КОСВЕННЫЕ, КАРЕТЕЛЬНЫЕ, СЛУЧАЙНЫЕ, КОСВЕННЫЕ ИЛИ ПРИМЕРНЫЕ УБЫТКИ, СВЯЗАННЫЕ С РЕСУРСАМИ TI ИЛИ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИХ ОТНОСИТЕЛЬНО ADI ВОЗМОЖНОСТЬ ТАКИХ УБЫТКОВ.

Вы соглашаетесь полностью освободить TI и ее представителей от любых убытков, затрат, убытков и / или обязательств, возникающих в результате несоблюдения вами условий и положений настоящего Уведомления.

Это Уведомление относится к Ресурсам TI. Дополнительные условия распространяются на использование и покупку определенных типов материалов, продуктов и услуг TI. Это включает; без ограничений, стандартные условия TI для полупроводниковой продукции (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), оценочные модули, и образцы (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>).

Почтовый адрес: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265.

Авторские права © 2018, Texas Instruments Incorporated