

В 2007 году исследовательская группа Берлинского технического университета под руководством Генри Вестфала провела исследование влияния пульсаций напряжения переменного тока на гитарный усилитель Fender Bassman 5F6-A. Мои комментарии здесь основаны на окончательном отчете о проекте, написанном для проекта WILDCAT Томасом Шмидтом и Генри Вестфалом из группы по производству смешанных сигналов TU Berlin.<sup>1</sup>

Когда мне предоставляется выбор экспериментального результата, который просто подтверждает то, что кто-то считает истинным, и тот, который полностью противоречит этому предположению, я каждый раз выбираю последний. Так обстоит дело с этими результатами. Целью разработки TU Berlin было разработать блок питания переменного тока с активной фильтрацией для 5F6-A, который сохранил бы характеристики постоянного тока, в первую очередь падение напряжения, возникающее при высоких уровнях мощности, и при этом устранил бы пульсации переменного тока. Ожидалось, что получившийся усилитель сохранит все любимые характеристики искажения Bassman, но с уменьшенным шумом. Однако окончательный результат оказался весьма неожиданным.

## Эксперимент

В двухтактном усилителе мощности класса А, работающем на полную мощность, обе лампы постоянно проводят ток и обе непрерывно участвуют в процессе усиления мощности. Трубки настроены друг против друга - по мере увеличения тока в одной трубке ток в другой трубке уменьшается. Пульсации переменного тока от источника питания вызывают одновременное изменение тока в обеих трубках в одной и той же фазе, что приводит к нулевому суммарному эффекту. По этой причине двухтактные усилители мощности класса А относительно невосприимчивы к фону переменного тока.

В усилителе класса АВ, таком как Fender Bassman 5F6-A, обе лампы проводят ток одновременно только при низких уровнях сигнала. Как только напряжение сигнала становится достаточным, чтобы отключить одну из ламп, другая вступает во владение, действуя больше как одноламповый усилитель. В этих условиях пульсации переменного тока воздействуют только на проводящую трубку и, таким образом, беспрепятственно проходят через выходной трансформатор на громкоговорители. Это был эффект, который команда проекта WILDCAT пыталась подавить: переменная модуляция выходного сигнала при высоких уровнях

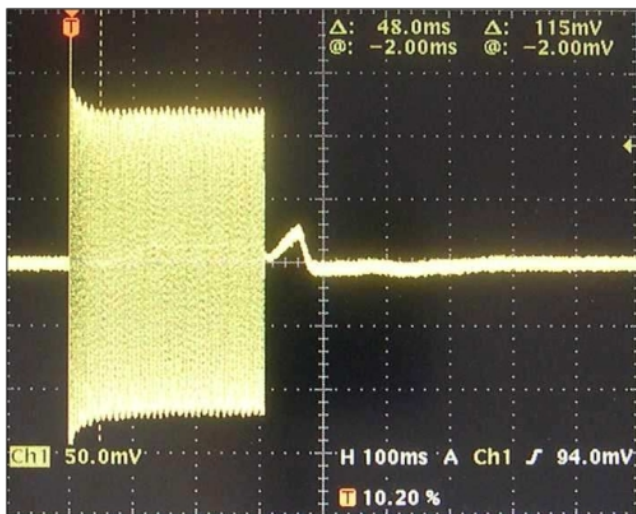
мощности. Они действительно преуспели в достижении этой цели. Однако последствия оказались совершенно неожиданными.



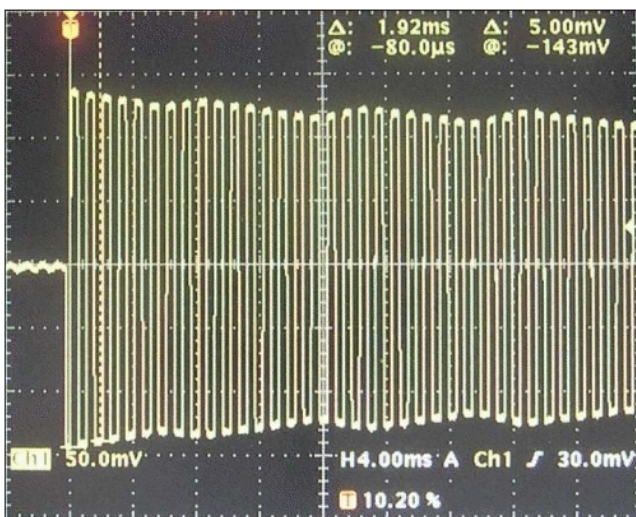
([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/deluxe/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/deluxe/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru))

Новый! Электроника гитарного усилителя: Fender Deluxe ([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/deluxe/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/deluxe/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru)) - от передней панели телевизора до узкой панели, от коричневой до черной реверберации

Испытания сначала проводились с использованием оригинальной схемы блока питания 5F6-A. На следующем рисунке показан сигнал полной мощности, измеренный на выходе выходного трансформатора с сопротивлением 2 Ом, подключенного к эквивалентной нагрузке с сопротивлением 2 Ом. Был использован пробник с коэффициентом ослабления 100:1, поэтому уровни напряжения в 100 раз выше, чем показывает дисплей.

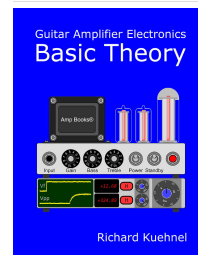


Мы ясно видим музыкальные желательные эффекты падения напряжения питания. Когда сигнал подается впервые, амплитуда выходного сигнала составляет около 13 вольт. Повышенная нагрузка приводит к тому, что напряжение источника питания со временем проседает, снижая уровень выходного сигнала примерно до 12 вольт через 50 миллисекунд. Следующий график расширяет шкалу времени, чтобы показать, как пульсации переменного тока влияют на первые 40 периодов выходного сигнала.



В Европе частота сети переменного тока составляет 50 Гц. Таким образом, при двухполупериодном источнике питания частота пульсаций составляет 100 Гц, что

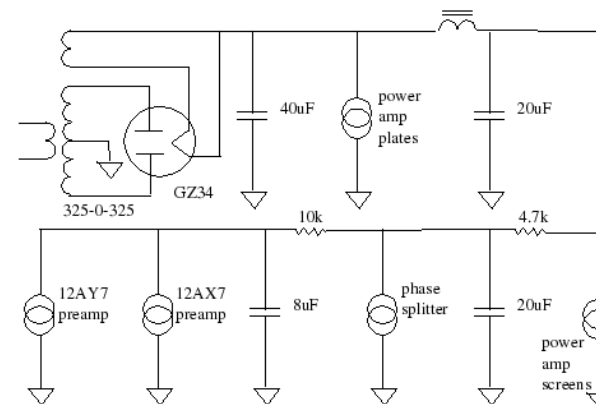
ясно видно на показанном выходе. Цель разработки: устранить пульсации переменного тока при сохранении характеристик провисания источника питания.



**Guitar Amplifier Electronics: Basic Theory** ([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/basic-theory/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/basic-theory/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru)) — освоите основы проектирования предусилителя, усилителя мощности и блока питания.

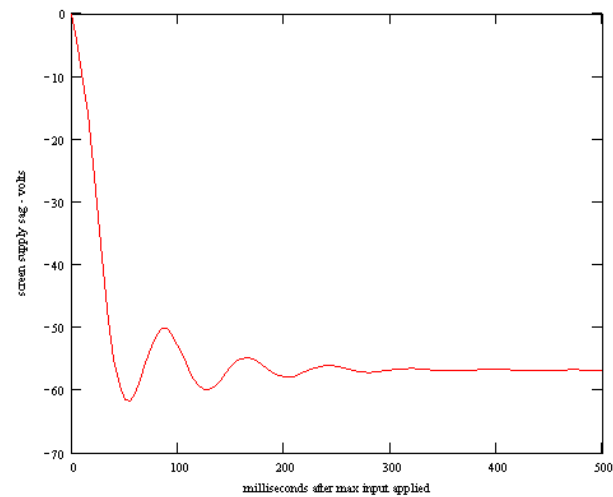
([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/basic-theory/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/basic-theory/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru))

То, как блок питания реагирует с течением времени, определяется его компонентами и полным эффективным сопротивлением источника. На следующей схеме показаны источник питания 5F6-A и нагрузки постоянного тока.



Сопротивление в силовом трансформаторе, внутреннее сопротивление пластины выпрямительной трубки и сопротивление в дросселе вызывают экспоненциальное падение напряжения постоянного тока, питающего экраны усилителя мощности. Конденсаторы дросселя и фильтра также взаимодействуют друг с другом, вызывая небольшие колебания напряжения, как показано на следующем рисунке. <sup>2</sup> На

графике показано падение напряжения источника питания в течение первых 500 миллисекунд после появления сигнала полной мощности.

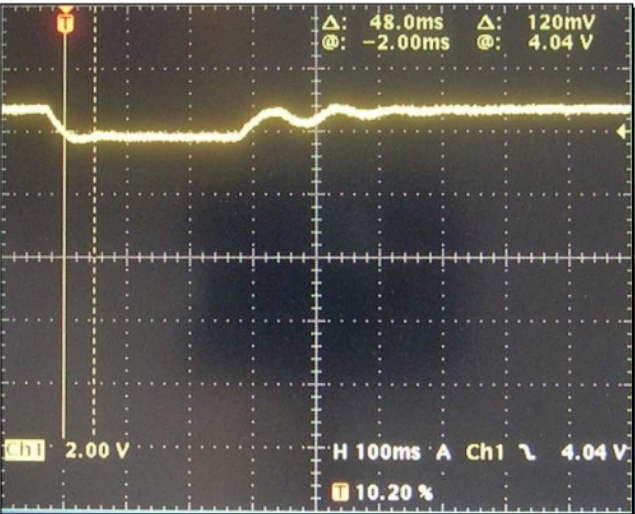


Основы проектирования системы гитарного усилителя ([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/system/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/system/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru)) — спроектируйте свой усилитель, используя структурированную профессиональную методологию.

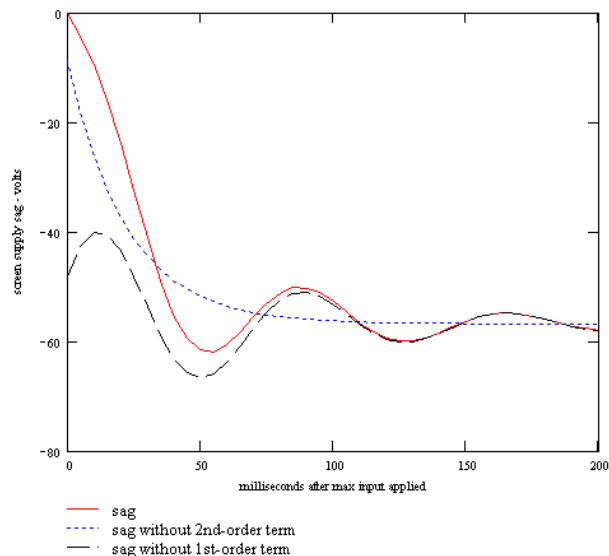
([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/system/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/system/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru))

Для проекта WILDCAT был разработан ламповый регулятор напряжения с регулируемым внутренним сопротивлением, который значительно уменьшил пульсации переменного тока, но сохранил те же характеристики просадки источника питания, в частности, динамический характер важнейшего напряжения питания экрана. На следующем экране осциллографа показано напряжение питания экрана,

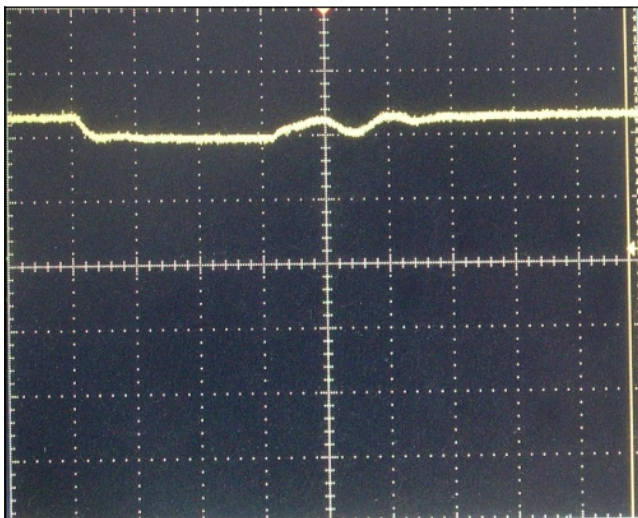
создаваемое оригинальным блоком питания 5F6-A при реагировании на сигнал полной мощности, описанный ранее.



Основная составляющая падения напряжения экспоненциально уменьшается с постоянной времени 72 миллисекунды, время, необходимое для того, чтобы эта составляющая падения напряжения достигла 63 процентов от своего установившегося значения. Колебания дросселя можно наблюдать лишь слабо после подачи сигнала, но они отчетливо видны при снятии сигнала и восстановлении подачи питания. Частота колебаний около 13 Гц. На следующем графике показано, как различные компоненты прогиба влияют на наблюдаемую общую форму. <sup>2</sup> Красная сплошная кривая показывает фактический прогиб, определенный аналитически на основе схемы 5F6-A. Пунктирные и пунктирные кривые являются двумя основными компонентами, которые способствуют этому.

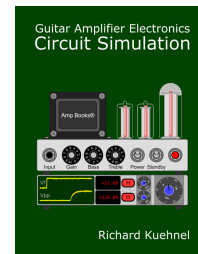


На следующем графике показана реакция малошумящего источника питания, разработанного для проекта WILDCAT, внутреннее сопротивление которого было отрегулировано в соответствии с постоянной времени источника 5F6-A. И экспоненциальный провал, и колебания дросселя неотличимы от того, что наблюдалось при исходной подаче.



Измеренная разница в напряжении смещения сетки постоянного тока, которое

продолжало поступать от исходного источника питания, составила менее 0,5 вольт. Успешный результат! Но на этом история не заканчивается. Как звучит малошумящая версия усилителя WILDCAT?



Электроника гитарного усилителя: имитация цепей ([https://www-ampbooks-com.translate.google/mobile/books/simulation/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.google/mobile/books/simulation/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru)) — узнайте, как работает ваша конструкция, измеряя производительность в каждой точке усилителя.

([https://www-ampbooks-com.translate.google/mobile/books/simulation/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=ru](https://www-ampbooks-com.translate.google/mobile/books/simulation/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru))

## Большой сюрприз

Команда проекта WILDCAT резюмирует результаты следующим образом:

*«Несмотря на практически идентичные кривые напряжения (за исключением пульсации 100 Гц), по звуку усилитель уже не узнать. Его тональные характеристики совершенно другие».*

Сенсорная чувствительность - ноль. Четких динамических призывов - ноль. По словам Шмидта и Вестфала, WILDCAT стал больше похож на *котенка*. Новый блок питания отфильтровал не только шум. Он подавил сердце и душу усилителя!

Поскольку малошумящий источник питания имел регулируемое сопротивление источника, что позволяло контролировать величину и скорость провисания, команда немного поэкспериментировала с ним. Они заметили, что когда провисание было устранено, усилитель звучал «мягко» и «дешево», как транзисторный усилитель String 300 из магазина электроники со скидками. Тем не менее, даже при должном сэге в легендарном звучании Bassman определенно чего-то не хватало.

## Выводы

Команда WILDCAT пришла к выводу, что пульсации переменного тока, присутствующие в силовом каскаде, представляют собой гораздо больше, чем

просто шум. Его модуляция выходного сигнала, по-видимому, оказывает значительное влияние на звуковой характер Bassman.

Как бы ни был важен этот результат сам по себе, команда приходит к выводу, что если пульсации тонально значимы, то разница в частоте сети переменного тока (например, 60 Гц в США и 50 Гц в Европе) также оказывает важное влияние. Преобразование между 120 и 230 вольт не сложно. Преобразование между 50 и 60 Гц для достижения определенной динамики тона — это совсем другая история!

## Дальнейшее чтение

<sup>1</sup> Томас Шмидт и Генри Вестфаль, «Малошумящий источник питания WILDCAT», ([https://translate.google.com/website?sl=auto&tl=en&hl=ru&u=http://www.emsp.tu-berlin.de/fileadmin/fg232/Lehre/MixedSignal/Dateien/Wildcat/05\\_LowNoise\\_NT1.pdf](https://translate.google.com/website?sl=auto&tl=en&hl=ru&u=http://www.emsp.tu-berlin.de/fileadmin/fg232/Lehre/MixedSignal/Dateien/Wildcat/05_LowNoise_NT1.pdf))  
**итоговый отчет о проекте, проект «Гитарный усилитель WILDCAT»** (Берлин: Технический университет Берлина, 2007 г.).

<sup>2</sup> Ричард Кюнель, Анализ схемы легендарного лампового усилителя: Fender Bassman 5F6-A ([https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/bassman](https://www-ampbooks-com.translate.goog/mobile/books/bassman/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=ru) /?\_x\_tr\_sl=auto&\_x\_tr\_tl=en&\_x\_tr\_hl=ru) , 3-е изд., (Сиэтл: Pentode Press, 2009).

## Благодарности

Проект WILDCAT был поддержан Würth-Elektronik, Институтом технологий энергетики и автоматизации и Tigris Elektronik GmbH.