

Высокоэффективный генератор шума на базе стабилизатора напряжения

Владимир РЕНТЮК
Rvk.modul@gmail.com

В статье рассматривается новый вариант реализации высокоэффективного генератора шума на основе ИМС компенсационного стабилизатора напряжения.

Генераторы шума используются не только как средства измерения для генерации сложных некоррелированных сигналов, но и как формователи случайных процессов, например для генерации последовательности случайных чисел. Так, автор статьи использовал эти устройства в качестве узлов электронных музыкальных инструментов и генерации последовательностей случайных чисел для различных автоматов компании TCSJOHNHUXLEY [1, 2].

Как правило, если не брать во внимание программные методы синтеза шумовых сигналов, генераторы шума основаны на трех типах первичных источников шумового сигнала. Это обратносмещенные *p-n*-переходы биполярных транзисторов, стабилитроны или специальные шумовые диоды. Недостатком всех этих «традиционных» источников шума является низкий уровень шумового сигнала, а специальные шумовые диоды, несмотря на их неоспоримые достоинства по сравнению с остальными традиционными источниками шума, еще и весьма дороги. Для примера широко применяемый шумовой диод 2Г401В [3] имеет при нормальных климатических условиях гарантированную спектральную плотность напряжения $30 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. И это один из самых эффективных генераторов шума. В отличие от специально разработанных шумовых ди-

одов уровень шума конкретного стабилитрона мало предсказуем и может быть определен только опытным путем [4].

Еще одним недорогим генератором шума, как это ни странно, являются компенсационные стабилизаторы напряжения. Причем в отличие от обратносмещенных *p-n*-переходов биполярных транзисторов и стабилитронов многие ИМС таких стабилизаторов и источников опорного напряжения нормируются как по спектральной плотности напряжения в полосе частот, так и по среднеквадратичному напряжению шума или размаху амплитуды напряжения шумов. Например, для ИМС LM2931-5.0 типовое среднеквадратичное напряжение шумов в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц равно 500 мкВ (выходной конденсатор $C_{OUT} = 100 \text{ мкФ}$) [5].

Пример такого варианта исполнения генератора шума с использованием LM2931-5.0 как стабилизатора и источника шумового сигнала приведен в [6]. Однако и такие генераторы шума, хоть и выигрывают в стабильности и качестве генерации шума (в низкочастотном диапазоне он может быть приравнен к белому шуму), нуждаются в дополнительном усилителе, что приводит к удорожанию схемы в целом.

В ходе опытно-конструкторских работ автор статьи случайно обнаружил не описанный ранее феномен в поведении ком-

пенсационных генераторов, который позволяет получить значительно более высокий уровень среднеквадратичного напряжения шума. Этот эффект не был известен разработчикам компаний ON Semiconductor и Texas Instruments. (Это подтвердил автору статьи инженер компании по применению стабилизаторов напряжения Гонг Ксан (Gong Xun)). Соответственно, он не был учтен в руководящих материалах, и его не показывают программы компьютерного моделирования, например, такая мощная программа, как Multisim компании National Instruments.

Эффект характерен для любых ИМС компенсационных стабилизаторов напряжения и даже ИМС опорного напряжения, таких как ADR425ARZ.

Автор статьи проверял этот феномен на следующих ИМС: LM2931-5.0, L78L15ABU, SPX1117M3-L и т. д. Наилучший результат был получен на образцах ИМС LM2931-5.0, самый низкий уровень шумов дали образцы ADR425ARZ.

На рис. 1 представлена простая схема такого необычного генератора. Генератор в диапазоне не менее чем до 100 кГц производит шумовой сигнал со среднеквадратичным напряжением в сотни милливольт и не нуждается в дополнительных усилителях для большинства применений. ИМС стабилизатора напряжения обеспечивает одновременно генерацию шумов и питание всей схемы устройства (например, дополнительных фильтров, цепей управления, исполнительных цепей и т. п.). В отличие от схемы, представленной в [6], предлагаемая схема не требует подбора выходного конденсатора и не изменяет стандартную схему включения стабилизатора по выходу.

В противоположность схеме [6] источник шума — это не выходная, а входная цепь стабилизатора напряжения DA1. Сопротивление R2 использовано как нагрузка для выделения шумового сигнала. При указанном номинале R2 среднеквадратичное напряжение шума на выходе схемы составляет около 800 мВ.

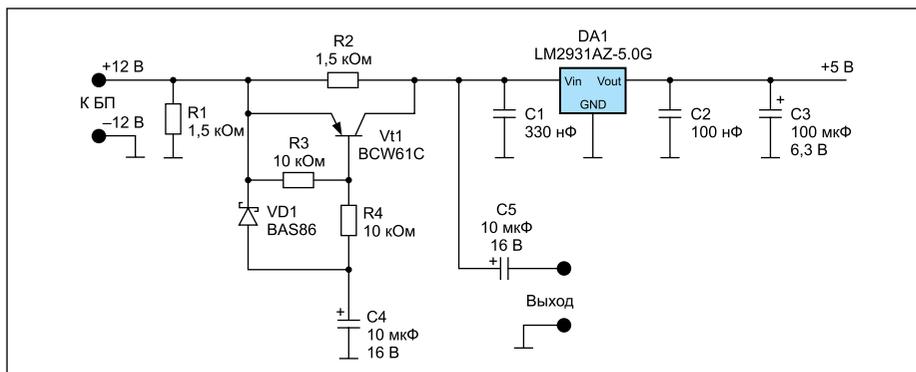


Рис. 1. Схема простого генератора шума

Номинал сопротивления R2 рассчитывается как:

$$R_2 < (V_{IN} - (V_S + V_{DV}) - V_{PN}) / (I_{OUT} + I_q) = (12 - (5,19 + 0,2) - 0,6) / (2,5 + 1) = 1,7 \text{ кОм},$$

где V_{IN} — минимальное напряжение питания схемы (+12 В для примера на рис. 1); V_S — максимальное выходное напряжение стабилизатора DA1 ($V_S = 5,19$ В здесь и далее, согласно [5]); V_{DV} — минимально допустимое падение напряжения на DA1 ($V_{DV} = 0,2$ В); I_{OUT} — максимальный ток нагрузки по шине +5 В (допустим, что от ИМС питается внешний фильтр с током потребления 2,5 мА); I_q — собственный максимальный ток потребления DA1 ($I_q = 1$ мА); V_{PN} — ожидаемая максимальная амплитуда шумового сигнала (положим, $V_{PN} = 0,6$ В).

Таким образом, в рассматриваемом варианте в качестве резистора для выделения шума можно использовать резистор номиналом 1,5 кОм. Для получения максимально широкого спектра шума величина емкости C1 должна быть минимально допустимой для используемого типа ИМС стабилизатора.

Еще одной особенностью схемы является цепь запуска DA1. Она необходима только лишь для ИМС типа LM2931-5.0. Дело в том, что согласно спецификации LM2931-5.0 при включении она в течение времени не менее 40 мс нуждается в начальном токе не менее чем 26 мА. В противном случае эта ИМС не будет функционировать должным образом. Начальный ток для инициации LM2931-5.0 обеспечивается каскадом на транзисторе VT1. Цепь запуска не требуется при использовании других типов стабилизаторов напряжения, например серии L78Lxx, SPX1117 и т. д. Но они, как показали исследования, генерируют меньшие уровни шумового напряжения.

В схему, представленную на рис. 1, можно включить дополнительный фильтр, который может быть запитан непосредственно от ИМС DA1. Если стабилизатор не имеет нагрузки, то в этом случае желательно нагрузить его на некоторое сопротивление, которое обеспечит при выключении разряд выходной емкости C3 и тем самым защитит стабилизатор от переплюсовки. Достаточным будет резистор номиналом 3,3 кОм. Фотография экрана осциллографа, показывающая характер шумов предлагаемой схемы, приведена на рис. 2.

В качестве добавочного фильтра рекомендуется использовать фильтр на базе специализированной ИМС LTC1563-2CGN [7] производства Linear Technology Corp. Автор статьи неоднократно использовал эту микросхему, и ее работа не вызывала никаких нареканий. ИМС LTC1563-2CGN позволяет достаточно просто конфигурировать на ней фильтры высоких порядков без помощи внешних частотоподающих конденсаторов и с малым током потребления. Бесплатная

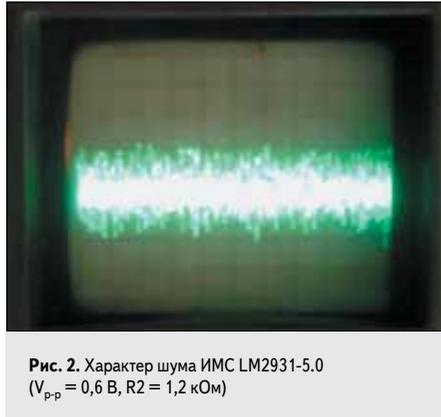


Рис. 2. Характер шума ИМС LM2931-5.0 ($V_{p-p} = 0,6$ В, $R_2 = 1,2$ кОм)

программа для расчета фильтров выложена на сайте компании. Можно воспользоваться и другими техническими решениями, например программой Analog Filter Wizard от Analog Devices, Inc. [8].

В заключение предлагаем посмотреть на некоторые результаты исследований поведения ИМС стабилизаторов различных видов. Исследования проводились в одинаковых режимах:

- разность напряжений на входе и выходе ИМС — 2,8 В;
- ток нагрузки — 1,6 мА (или холостой ход);
- сопротивление нагрузки для выделения шума — 1,5 кОм (620 Ом).

Испытывались экземпляры ИМС типа SPX1117M3-L (в режиме выходного напряжения 5 В), L78L15ABU и LM2931-5.0.

В результате исследований установлено, что образцы ИМС SPX1117M3-L дают напряжение шумов на уровне $V_{p-p} = 0,2$ В; L78L15ABU — $V_{p-p} = 0,1$ В; LM2931-5.0 — $V_{p-p} = 0,8$ В. При этом LM2931-5.0 давали наибольшую полосу спектра частот — не менее чем 100 кГц. Наименьшую полосу дали стабилизаторы L78L15ABU. Есть предположение, что наибольший уровень шума дают стабилизаторы с малым допустимым падением напряжения типа LDO (low-dropout regulator) и сверхмалым допустимым падением напряжения Very LDO.

Сопротивление нагрузки для выделения шумового сигнала на его уровень влияет мало. Различие между уровнем шумово-

го сигнала при изменении сопротивления с 1,5 кОм на 620 Ом было незначительным. Наибольшее влияние оказывает разность между входным и выходным напряжением.

Итак, можно утверждать:

1. Обнаруженный эффект присущ всем компенсационным стабилизаторам напряжения, он устойчив, и его можно использовать на практике.
2. Источником шума является внутренний источник опорного напряжения ИМС компенсационных стабилизаторов напряжения.
3. Ток нагрузки стабилизатора не оказывает значительного влияния на уровень шумов, если разность между выходным и входным напряжениями постоянна.
4. Нагрузочное сопротивление для выделения шумового сигнала оказывает незначительное влияние на уровень шумов. Увеличение этого сопротивления приводит к незначительному увеличению уровня шума. Эмпирически установлено, что это увеличение составляет не более чем кубический корень из отношения номиналов резисторов.
5. Наибольший рост уровня шумов дает увеличение разности между входным и выходным напряжением на выводах ИМС стабилизатора.

Литература

1. <http://www.tcsjohnhuxley.com/en/electronic-gaming/accuplay-system.html>
2. <http://www.tcsjohnhuxley.com/en/live-gaming/utilities/infinity-auto-dealer.html>
3. Кремниевые *p-n*-генераторы шума 2Г401А-2Г401В — http://www.155la3.ru/datafiles/2g401_tu_1990.pdf
4. Building a Low-Cost White-Noise Generator. Application note 3469. March 14, 2005. Maxim Integrated Products.
5. LM2931 Series Low Dropout Regulators, SNOSBE5F. May 2004. Revised July 2012. Texas Instruments, Inc. — <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2931-n.pdf>
6. Tzvetanov-Petrov P. LM2931-5.0 is a Random Noise Generator too // Eductor. 2011. No 7/8.
7. LTC1563-2/LTC1563-3 Active RC, 4th Order Lowpass Filter Family LT 1205 REV A. Linear Technology Corp. 2005.
8. Рентюк В. Проектирование фильтров в Analog Filter Wizard // Компоненты и технологии. 2013. № 6.