

# Параметры и применение микросхем фирмы Sanken для экономичных квазирезонансных источников питания

**Вопросами снижения потребления электроэнергии источниками питания аппаратуры различного назначения, работающей в режиме ожидания ("Standby Power"), занимаются национальные администрации ряда стран, а также международное энергетическое агентство МЭА (IEA/AIE). В 1999 году агентство предложило всем странам согласовать усилия, направленные на решение проблемы "Standby Power". Предложение организации было оформлено в документе под названием The IEA "1-watt Plan" — «План одного ватта» [1]. В этом документе, в частности, предлагалось странам-участницам МЭА направить усилия к снижению потребления электроэнергии аппаратурой, работающей в режиме ожидания, до уровня менее 1 Вт к 2010 году.**

Юрий ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ

Одним из важнейших элементов, от параметров которых существенно зависит энергопотребление аппаратуры в дежурном режиме, или режиме ожидания, являются импульсные источники питания (SMPS). Цель, поставленная «Планом одного ватта», практически решена, и в настоящее время производители полупроводниковых приборов для SMPS прилагают усилия для дальнейшего повышения эффективности своих микросхем и снижения энергопотребления аппаратуры в этом режиме.

Микросхемы для SMPS фирмы Sanken уже давно получили заслуженное признание у ведущих мировых производителей электроники, так как они отличаются весьма высокой надежностью. Автор в течение ряда лет обеспечивал сервисное сопровождение аппаратуры видеозаписи ряда профессиональных тиражирующих студий и региональных телекомпаний, оснащенных профессиональными видеомагнитофонами и видеокамерами преимущественно фирмы Panasonic с SMPS. Они были выполнены на основе микросхем, выпущенных на заводах Sanken (микросхемы с маркировкой SK, используемые в недорогой бытовой аппаратуре, совсем необязательно выпущены на предприятиях фирмы). На тиражирующих студиях десятки аппаратов работали практически в круглосуточном режиме (профессиональные видеомагнитофоны оснащены счетчиками наработки). За несколько лет был зарегистрирован единственный отказ микросхемы STR-M6545, вызванный броском напряжения в сети.

Более чем 60-летняя история фирмы Sanken Electric Co., Ltd (Нииза, префектура Сайтама, Япония) началась в 1937 г. с образования в структуре исследовательской лаборатории Toho Industrial Research Laboratory подразделения по производству и испытаниям селеновых выпрямителей. В 1946 г. Тетсуи Котани (Tetsuji Kotani), в то время руководитель уже расформированной лаборатории, основал компанию Toho Sanken Electric Co., Ltd. В 1962 г. фирма получила современное название. Организационно Sanken представляет собой группу компаний с одноименными названиями (Group Company), находящихся в различных префектурах Японии, а также в Корее, Китае, Индонезии, Сингапуре, Великобритании, Гонконге и на Тайване. Кроме того, в группу входят и самостоятельные американские фирмы Allegro Microsystems, Inc. и Polar Semiconductor, Inc. (всего в группе 25 фирм). Годовой объем продаж Sanken Electric в 2008 г. составил 147 млрд йен. Фирма выпускает силовые микросхемы, дискретные полупроводниковые приборы, источники бесперебойного питания, импульсные источники питания, сетевые адаптеры и фильтры, инверторы и системы питания. Президент фирмы — Садатоси Ииджима (Sadatoshi Iijima). Один из крупнейших заводов фирмы Kawagoe Plant в Кавагоэ (префектура Сайтама) в 1999 году сертифицирован по стандарту ISO14001.

Листы данных на выпускаемые Sanken микросхемы для квазирезонансных источников питания можно получить на сайте фирмы [2] только по запросу, однако они доступны

на сайте фирмы Allegro в отдельном разделе Sanken [3]. На ноябрь 2009 года в каталоге Allegro было представлено 6 типов микросхем обратноточковых квазирезонансных преобразователей (Quasi-Resonant Flyback Switching Regulator) Sanken серии STR-W6750. А в сентябре 2009 года фирма представила новую серию квазирезонансных преобразователей серии STR-Y6700 (внешний вид устройства показан на рис. 1) [4]. Массовое производство этих микросхем началось в ноябре, а в первом полугодии 2010 года компания будет выпускать до 1 млн штук в месяц. Классификационные параметры микросхем Sanken для квазирезонансных преобразователей приведены в таблице. Использованная в статье терминология базируется на материалах, входящих в состав технической документации Allegro/Sanken (Data Sheet, Application Notes, New Release, Reference Design и другие документы). Для некоторых терминов и сокращений приведены оригинальные термины и аббревиатуры, используемые в документации Allegro/Sanken.

Микросхемы серии STR-W6750 предназначены для сетевых квазирезонансных импульсных



Рис. 1. Внешний вид микросхем серии STR-Y6700

ных источников питания (Off-Line Quasi-Resonant Switching Regulators). Это гибридные приборы (HIC), в состав которых входят схемы управления, защиты и мощный MOSFET. STR-W6750 обеспечивают в рабочем режиме высокую эффективность и малый уровень электромагнитных излучений. Одним из основных недостатков квазирезонансных преобразователей, выполненных по стандартным схемам с переключением при нулевом напряжении (ПНН/ZVS) или нулевом токе (ПНТ/ZCS), является невозможность сохранения квазирезонансного режима при малых нагрузках (Light Output Loads). При уменьшении нагрузки до определенного уровня квазирезонансные SMPS, выполненные по схемам ПНН/ПНТ, переходят в режим жесткого переключения, и эффективность преобразования падает. В микросхемах серии STR-W6750 этот недостаток устранен введением специального режима работы «со сдвигом нижнего уровня» (Bottom-Skip Quasi-Resonant Operation). В режиме ожидания используется режим блокирования внутреннего генератора импульсов (Auto-Burst Mode), обеспечивающий малое потребление электроэнергии. Микросхемы выпускаются в пластиковом корпусе с семью выводами (Fully molded TO-220).

Особенности микросхем (Features):

- Блокирование генерации в режиме ожидания (Intermittent Oscillation Operation In Standby Mode).
- В дополнение к стандартному квазирезонансному режиму (ПНН) добавлен режим «со сдвигом нижнего уровня» (Bottom-Skip Function), что обеспечивает высокий КПД при любых нагрузках.
- Режим «мягкого» запуска (Soft-Start Operation).

Таблица 1. Классификационные параметры микросхем Sanken серий STR-W6750, STR-Y6700

Наименование	Uси, В	Iс, А	Pпотр, Вт	Rси, Ом	tr, мкс	P (при сетевом напряжении 100 В), Вт	P (при сетевом напряжении 230 В), Вт	P (при сетевом напряжении 85–264 В), Вт	P (для постоянного напряжения в 380 В), Вт
STR-W6735	500	20	0,8	0,57	0,4	120	—	—	—
STR-W6753	650	11,2	0,8	1,7	0,4	—	—	120	—
STR-W6754	650	15	0,8	0,96	0,4	—	—	160	—
STR-W6756	650	15	0,8	0,73	0,4	—	—	240	—
STR-W6765	800	11,2	0,8	1,8	0,4	—	—	110	—
STR-Y6734	500	—	—	1,3	—	60	—	—	—
STR-Y6735	500	—	—	0,8	—	120	—	—	—
STR-Y6752	650	—	—	2,8	—	—	70	50	80
STR-Y6753	650	—	—	1,9	—	—	90	60	100
STR-Y6754	650	—	—	1,4	—	—	100	67	120
STR-Y6755	650	—	—	1,1	—	—	110	75	135
STR-Y6756	650	—	—	0,6	—	—	130	100	150
STR-Y6763	800	—	—	3,5	—	—	60	50	80
STR-Y6765	800	—	—	2,1	—	—	100	70	120
STR-Y6766	800	—	—	1,7	—	—	120	80	140

- Снижение уровня помех переключения, обеспечиваемое режимом шагового управления (Step-Drive Function).
  - Наличие эффективных схем защиты от перегрузок по току, напряжению и от перегрузок по выходу.
  - Совместимость с SMPS, выполненных по стандартным схемам с ШИМ-управлением, что обеспечивает возможность их модернизации.
- Структура микросхем приведена на рис. 2. В ее состав входят:
- источник постоянного тока (Reg&Iconst);
  - прерыватель (Burst Control);
  - схема защиты от перенапряжений (Over Voltage Protection, OVP);
  - триггер защиты (Protection latch); драйвер затвора MOSFET (Drive Reg);
  - генератор (OSC);
  - схема защиты от перегрузки по выходу SMPS (Over Load Protection, OLP);
  - схема «мягкого» запуска (Soft Start);

- селектор режимов (Bottom Selector);
- счетчик (counter);
- усилитель сигнала обратной связи (FB);
- схема токовой защиты (Over Current Protection, OCP);
- усилители сигналов детектора нулевого напряжения (BD, BSD).

Функциональные назначения выводов микросхем:

- Вывод 4 ( $V_{CC}$ ) — многофункциональный вывод, предназначенный для подачи напряжения питания на схемы управления (Bias). Схема запуска (Start-up Circuit) приведена на рис. 3. В момент подачи сетевого напряжения конденсатор C3 заряжается через резистор R2, до момента запуска ток потребления  $I_{CC}$  не превышает 100 мкА. Запуск микросхемы происходит при  $V_{CC} \approx 18,2$  В, а блокировка — при напряжении  $V_{CC} \approx 9,7$  В (старт/стоп с гистерезисом). В рабочем режиме (после запуска) питание микросхемы обеспечивает выпрямитель D2, C3, подключенный к обмотке смещения (Bias Winding). Диапазон рабочих напряжений на выводе  $V_{CC}$  — 10,6–25,5 В. Для более надежной работы SMPS рекомендуется последовательно с диодом D2 включать резистор с небольшим сопротивлением  $\approx 5$ –50 Ом. Рекомендуемые номиналы резистора R2 и конденсатора C3: 47–150 кОм (для сети 120 В),

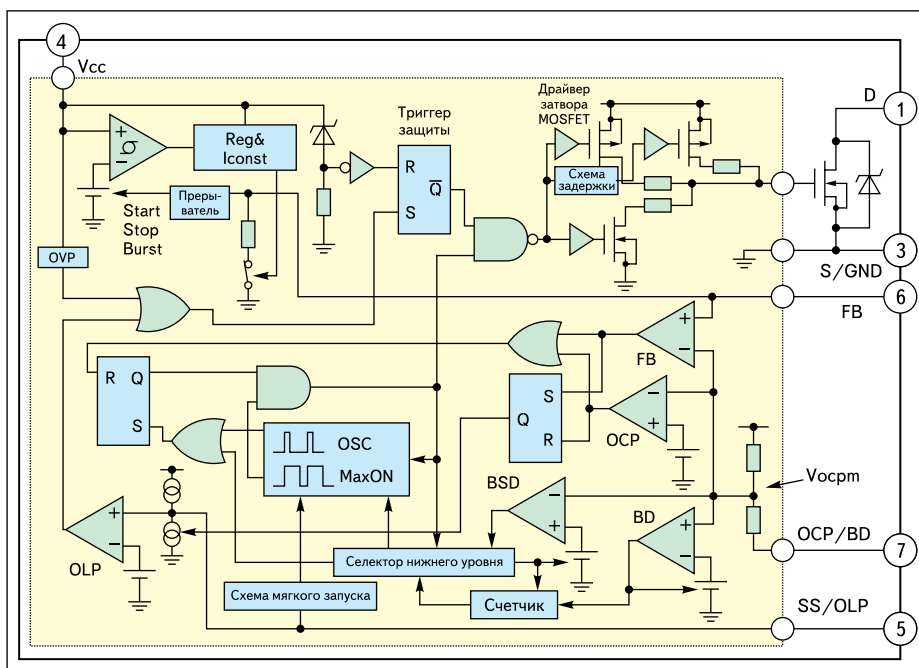


Рис. 2. Структура микросхем серии STR-W6750

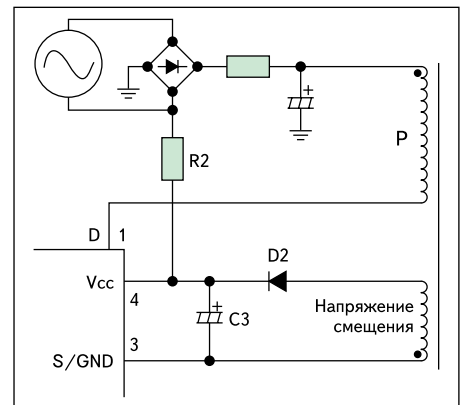


Рис. 3. Схема управления запуском микросхем STR-W6750

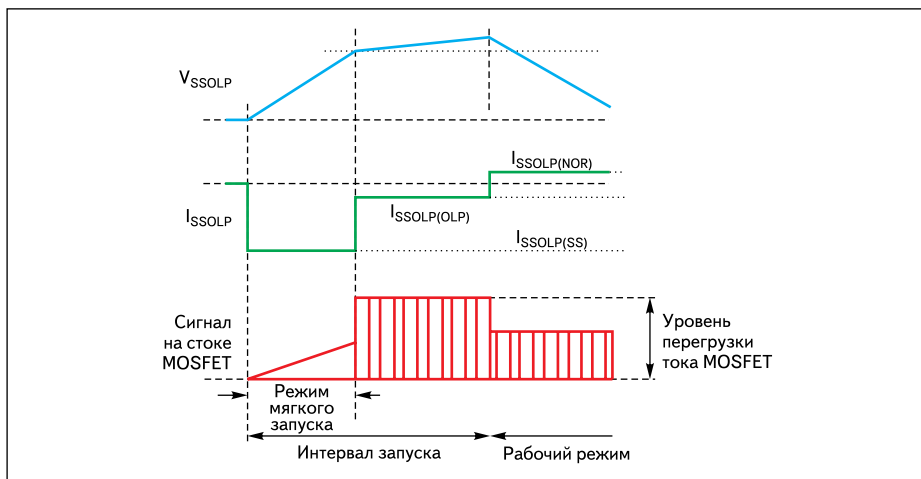


Рис. 4. Временные диаграммы сигналов на выводах микросхем STR-W6750 в различных режимах

82–330 кОм (для сети 220 В), 4,7–47 мкФ. Схема защиты от перенапряжений (OVP) срабатывает при увеличении напряжения на выводе  $V_{CC}$  до 27,7 В. Микросхема выключается и находится в таком состоянии, пока конденсатор C3 не разрядится до напряжения примерно 9,7 В, после чего начинается стандартный процесс запуска.

- Вывод 5 (Soft Start/Over Loading Protection, SS/OLP) — вход схем «мягкого» запуска и защиты от перегрузки по выходу. К выводу подключается внешний конденсатор, что обеспечивает реализацию режимов «мягкого» запуска микросхемы и защиту от перегрузки по выходу. На рис. 4 показаны временные диаграммы сигналов, поясняющие функционирование микросхемы в режимах «мягкого» запуска (Soft Start), перегрузки (OLP) и нормального рабочего режима (Normal). Напряжение на выводе 5 в режиме «мягкого» запуска изменяется от 0 до 1,2 В. При достижении определенной величины отбираемой от SMPS мощности срабатывает схема защиты OLP, и работа микросхемы блокируется в течение интервала, определяемого в основном величиной емкости конденсатора, подключенного к выводу 5 микросхемы. Работа схемы защиты от перегрузки по выходу OLP зависит и от состояния схемы токовой защиты OCP. Подробности взаимодействия этих схем приведены в [5].
- Вывод 6 (Feed Back, FB) — вход сигнала обратной связи, подаваемого через оптическую развязку от вторичных цепей. Вход задействован при работе в нормальном режиме (стабилизация выходного напряжения) и в режиме ожидания. При больших нагрузках микросхема работает в режиме стабилизации выходного тока, при этом пиковые значения импульсного тока стока MOSFET изменяются в зависимости от изменения напряжения на выводе 6 и внутреннего напряжения в точке  $V_{OCPM}$  (рис. 2), осуществляющего сброс тока

MOSFET сигналом с импульсного трансформатора в соответствии с логикой работы квазирезонансных регуляторов. На рис. 5 показаны временные диаграммы тока стока MOSFET (IDS) и напряжения  $V_{OCPM}$  при большой (Over Load), средней (Normal Load) и малой (Light Load) нагрузках. При отсутствии сигналов сброса от трансформатора внутренний генератор формирует последовательность импульсов с частотой следования около 22 кГц. При уменьшении напряжения на выводе 6 до порогового значения  $V_{EBoff} = 1,45$  В (при малой нагрузке) генерация блокируется (Intermittent Oscillation Starts), и микросхема переходит в режим ожидания.

- Вывод 7 (Over Current Protection/Bottom Detection, OCP/BD) — вход схем токовой защиты и детектора нулевого тока. Для работы схемы токовой защиты необходимо установить внешний резистор  $R_{OCP}$  (датчик тока истока MOSFET) между выводом 3 и общим корпусом SMPS, а также внешние элементы C5, R4, как показано на рис. 6. Схема токовой защиты будет срабатывать при достижении напряжения на выводе 7 порогового значения  $V_{OCPCD(lim)} = -0,94$  В. Номинал резистора R4 выбирают в пределах 100–330 Ом, конденсатора C5 — в пределах 100–680 пФ, номинал резистора  $R_{OCP}$  выбирается в зависимости от режима работы конкретных типов микросхем.

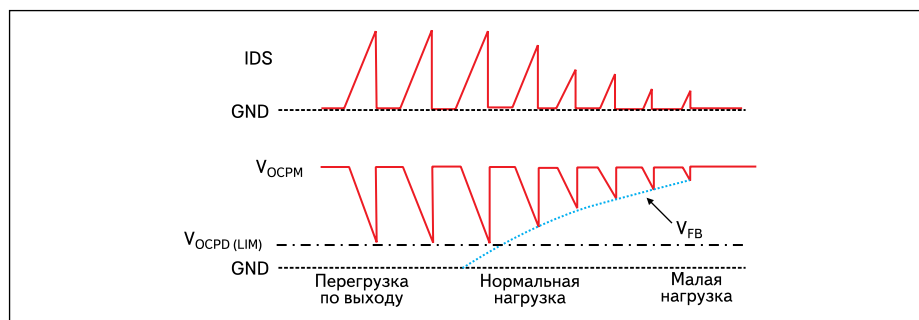


Рис. 5. Временные диаграммы сигналов на выводах микросхем STR-W6750 при различных нагрузках

Микросхемы могут работать в стандартном квазирезонансном режиме и в режиме «со сдвигом нижнего уровня» (Bottom-Skip Operation или Shift from Quasi-Resonant Operation — «квазирезонансный режим со сдвигом»). Реализация квазирезонансного режима осуществляется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 7. Основная особенность квазирезонансного режима — переключение MOSFET в нижней точке резонансной характеристики цепи, образованной первичной обмоткой импульсного трансформатора P (Primary Winding) и конденсатором  $C_R$  (резонансная частота  $f_r \approx C_R \times L_p$ , где  $L_p$  — индуктивность первичной обмотки импульсного трансформатора). Элементы C10, D3, D4, R9, включенные между обмоткой смещения (Bias Winding) и выводом 7 микросхемы, обеспечивают необходимую для работы задержку сигнала переключения. При уменьшении напряжения на выводе 7 до значения  $V_{OCPCD(th2)} = 0,8$  В, соответствующего малой нагрузке SMPS, микросхема переходит в режим с обычным ШИМ-управлением с постоянной частотой переключения около 22 кГц. Номинал резистора R9 должен быть в пределах 1–3,3 кОм, конденсатора C10 — около 1000 пФ. Как уже было отмечено, КПД источника питания при этом снижается, чтобы этого избежать, осуществляется автоматический переход от схемы в режим работы «со сдвигом».

Квазирезонансный режим со сдвигом активируется при малой нагрузке вторичных цепей и обозначается статусом Light Load, стандартный квазирезонансный режим при большой нагрузке обозначается статусом Heavy Load. Временные диаграммы, поясняющие работу микросхемы при различных статусах, приведены на рис. 8. Критерием выбора текущего статуса является величина отрицательного выброса напряжения  $V_{OCP}$  на выводе 7 микросхемы (рис. 8, диаграмма «в»), при увеличении отрицательного выброса на спаде импульсов коммутации свыше  $V_{OCPCD(bs1)}$  реализуется статус Heavy Load, а при его уменьшении выше уровня  $V_{OCPCD(bs2)}$  — Light Load. Переключение статуса (рис. 8, диаграмма «е») осуществляется с гистерезисом ( $V_{OCPCD(bs1)}$  —  $V_{OCPCD(bs2)}$ ). Количество пиков на интервалах спадов импульсов напряжения на стоке MOSFET (рис. 8, диаграмма «а») при статусе

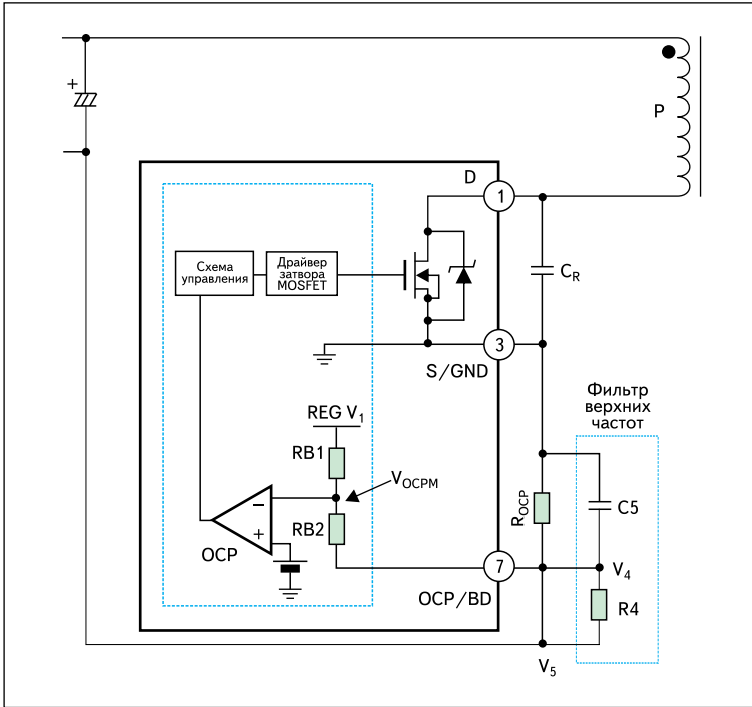


Рис. 6. Схема токовой защиты и детектора нулевого тока

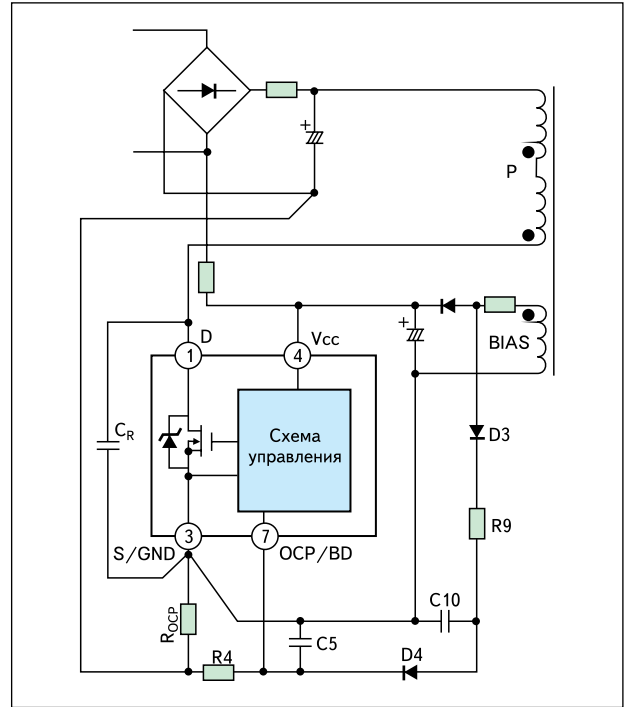


Рис. 7. Схема реализации квазирезонансного режима

Light Load определяется порогами напряжения  $V_{OCPBD} (th1)/(th2)$ . На уровне  $V_{OCPBD} (th2)$  происходит расщепление импульсов с соответствующим изменением их длительностей и периода следования. В результате период следования и длительность активных интервалов переключения MOSFET увеличивается, что и ведет к увеличению эффективности преобразования (КПД) SMPS. Подробности функционирования микросхем при различных статусах и особенности расчета элементов задержки схемы приведены в [5].

Работа микросхемы в дежурном автоматическом прерывистом режиме, обеспечивающем снижение потребления электроэнергии, иллюстрируется временными диаграммами, приведенными на рис. 9. Вхождение в режим Auto-Burst Mode происходит при увеличении напряжения на выводе FB микросхемы выше порогового значения  $V_{FB}(s)$ , выход из дежурного режима — при увеличении напряжения на выводе  $V_{CC}$  до порогового значения  $V_{CCon}$ . При величине напряжения  $V_{CC}$ , происходит кратковременный запуск микросхем (Burst

Mode). Вывод 1 (D) — вывод стока MOSFET, вывод 4 (S/GND) — вывод истока.

Приведем некоторые параметры микросхем STR-W6753/54/56/65, отсутствующие в таблице:

- Напряжение запуска ( $V_{CCon}$ ) — 16,3–19,9 В, напряжение блокировки (Operation Stop Voltage,  $V_{CCoff}$ ) — 8,8–10,6 В.
- Ток утечки MOSFET (Drain Leakage Current) — не более 0,3 мА, ток покоя  $I_{CCoff}$  — не более 100 мкА.
- Ток потребления в рабочем режиме ( $I_{CCon}$ ) — не более 6,0 мА.
- Допустимый диапазон частот генератора импульсов ( $f_{osc}$ ) — 10–25 кГц.
- Пороговые напряжения входа в квазирезонансный режим со сдвигом и выхода из него (Bottom-Skip Operation Threshold Voltage,  $V_{OCPBD} (bs1)/(bs2)$ ) —  $-(605-720)/-(385-485)$  мВ.
- Пороговые напряжения входа в стандартный квазирезонансный режим и выхода из него [ $(V_{OCPBD} (th1)/(th2))$ ] —  $(280-520)/(670-930)$  мВ.
- Пороговые напряжения на выводе FB ( $V_{FBoff}$ ) — 1,32–1,58 В.
- Пороговые напряжения входа в режим ожидания ( $V_{CC}$ ) — 10,3–12,1 В.
- Потребляемая мощность ( $P_d = V_{CC} \times I_{CC}$ ) — не более 0,8 Вт.
- Рабочая температура  $-20 \dots 115$  °С, по требованию заказчиков возможна поставка микросхем в исполнениях  $-40 \dots 115$  °С.

В качестве примера на рис. 10 приведена электрическая принципиальная схема SMPS, рекомендованная фирмами Sanken/Allegro. Основные параметры такого источника питания: входное сетевое напряжение — 85–264 В;

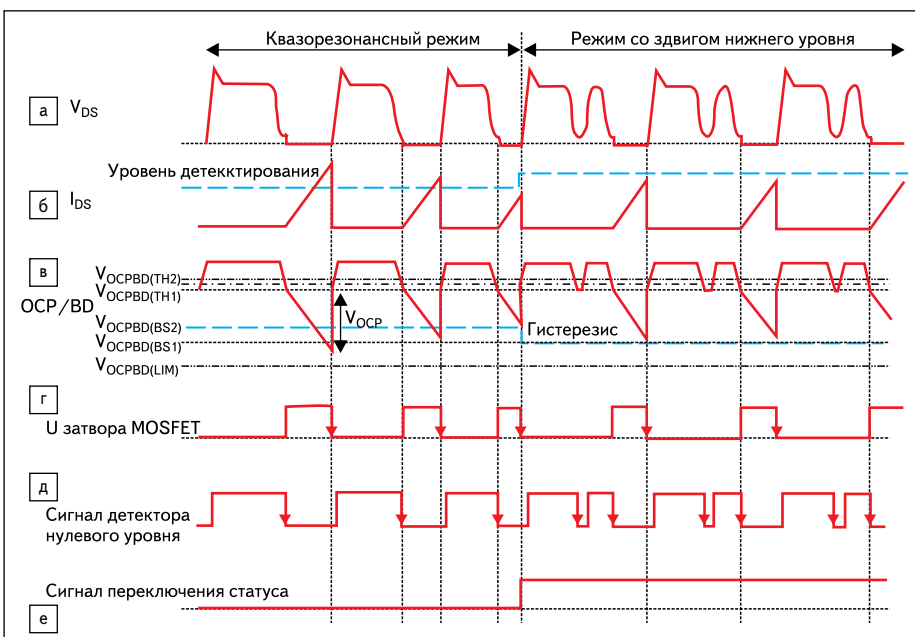


Рис. 8. Временные диаграммы на выводах микросхем при работе в квазирезонансном режиме и режиме сдвига нижнего уровня

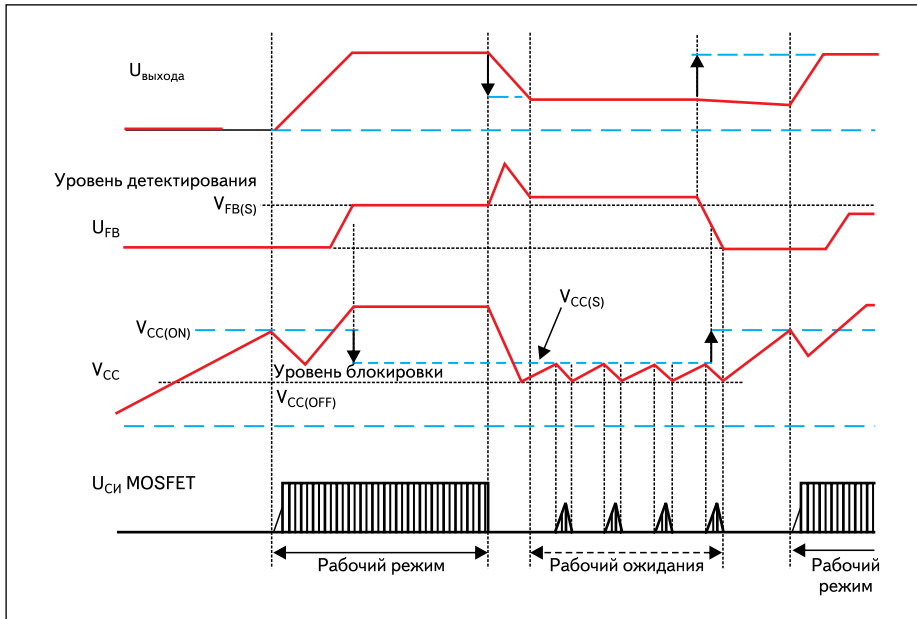


Рис. 9. Временные диаграммы на выходах микросхем в рабочем и дежурном режимах

выходная мощность — 140 Вт; выходное напряжение/ток —  $15\text{ В} \pm 5\% / (0-9,33)\text{ А}$ ; КПД — 84% при сетевом напряжении 85 В и максимальной нагрузке. SMPS выполнен по схеме квазирезонансного преобразователя с режимом сдвига нижнего уровня (Bottom-Skip Function), уровень электромагнитных излучений (EMI noise) соответствует требованиям CISPR Class

B (conductive). Аббревиатурами UFRD на схеме обозначены быстрые диоды (Ultra Fast Rectifier Diode), аббревиатурой SBD — мощный выпрямительный диод Шоттки. Сердечник трансформатора T1 — типоразмера EER42 (рекомендован TDK PC40 EER-42). Особенности расчета трансформатора можно найти в руководстве по применению микросхем [5].

В приложении к статье на сайте журнала приведена электрическая принципиальная схема SMPS с универсальным питанием, выполненным на микросхеме STR-W6754. Параметры этого источника питания:  $U_{\text{вых}1} = 5\text{ В}$  (0,2 А);  $U_{\text{вых}2} = 20\text{ В}$  (2 А);  $R_{\text{вых}} = 41\text{ Вт}$ ; КПД — 81% при  $U_{\text{сети}} = 85\text{ В}$  и максимальной нагрузке.

Разработанные фирмой Sanken новые перспективные микросхемы для квазирезонансных источников питания серии STR-Y6700 являются приборами с минимальной потребляемой мощностью в классе источников питания с выходной мощностью порядка 100 Вт (по данным фирмы, это наилучший мировой показатель на август 2009 года в данном классе микросхем). Мощность потребления микросхем — 30 мВт и менее при сетевом напряжении 100 В и 50 мВт и менее при 230 В (это примерно в три раза меньше, чем аналогичные показатели микросхем серии STR-W6700). Одна из целей новой разработки — дальнейшее снижение потребления электроэнергии источниками питания современной цифровой аппаратуры, работающей в дежурном режиме. Возможности решения этой задачи традиционными методами с использованием стандартных решений SMPS с ШИМ практически исчерпаны. Поэтому в новой серии микросхем использованы решения на основе усовершенствованного квазирезонансного режима работы SMPS и новых MOSFET с очень низким значением  $R_{\text{си}}$ .

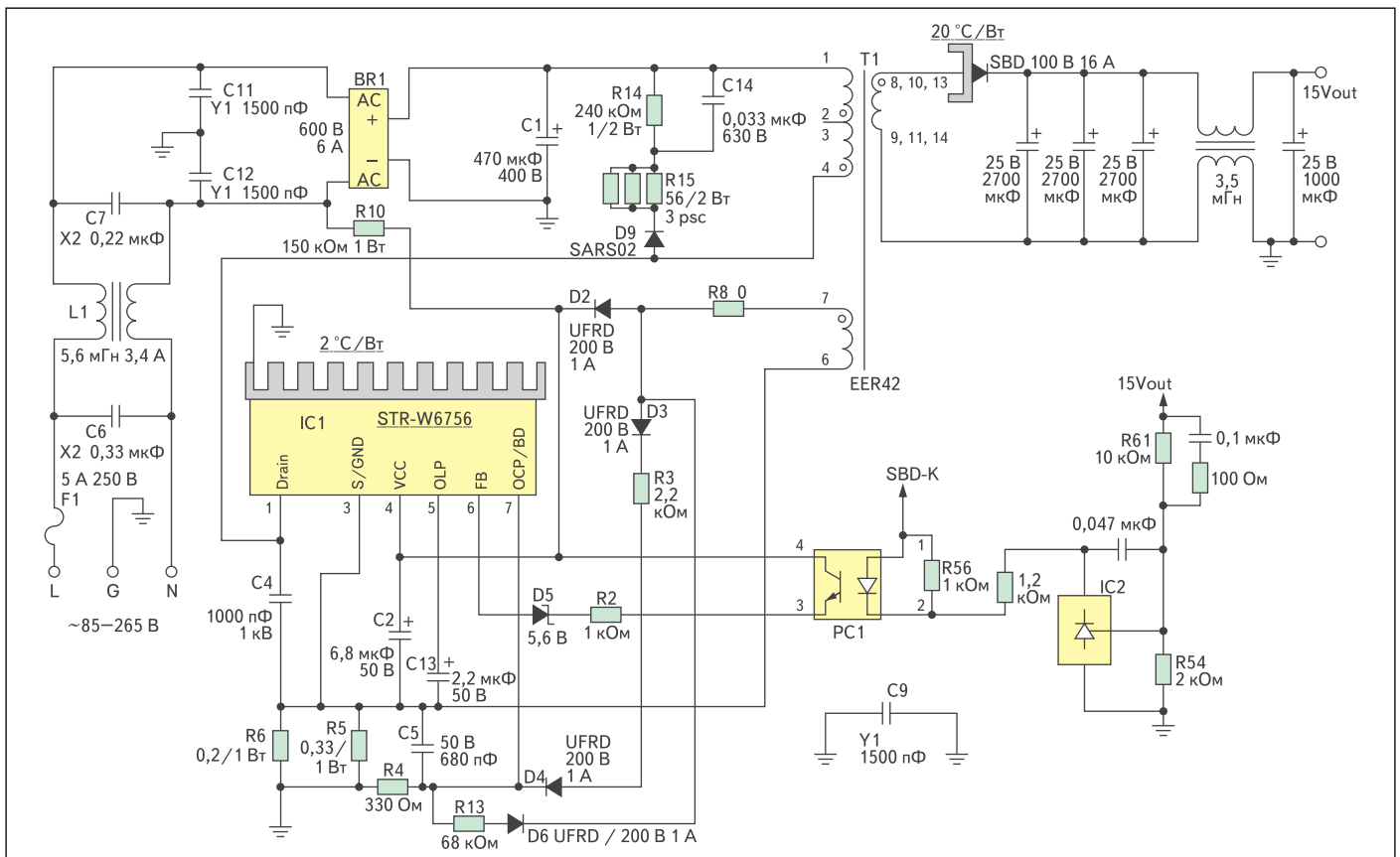


Рис. 10. Электрическая принципиальная схема SMPS на микросхеме STR-W6756

В микросхемах новой серии, как и в микросхемах серии STR-W6750, использован комбинированный квазирезонансный режим работы (стандартный и со сдвигом нижнего уровня), однако в SMPS на микросхемах STR-W6700 включение режима Bottom-Skip может сопровождаться заметными слышимыми шумами (Audible Noise), особенно при работе аппаратуры в режиме ожидания. Для устранения этого эффекта в микросхемах серии STR-Y6700 применены специальные схемы для подавления слышимых звуков. В дополнение к различным схемам защиты, используемым в микросхемах серии STR-W6750, в новых микросхемах применена схема поддержки напряжения питания  $V_{CC}$  (Bias Assist Function), обеспечивающая работу SMPS в режиме ожидания даже при значительном снижении сетевого напряжения (менее 80 В).

Предполагаемые области применения новых микросхем: цифровая домашняя электроника, вспомогательные источники питания кондиционеров, холодильников, стиральных машин, систем «умного дома» и т. п.

Особенности микросхем:

- Наименьшая в мире потребляемая мощность (по данным фирмы на август 2009 года в классе 100-Вт SMPS).
- Квазирезонансный режим с высоким КПД, малыми звуковыми шумами и низким уровнем электромагнитных излучений.
- Режим сдвига нижнего уровня для повышения КПД при средних и малых нагрузках.

- Автоматическое включение дежурного режима при снижении или выключении нагрузки.
- Пониженный уровень слышимых звуков, создаваемых импульсным трансформатором.
- Различные схемы защиты: токовой, от перенапряжений, перегрузки по выходу, перегрева, коротких замыканий между обмотками трансформатора, «провалов» сетевого напряжения в дежурном режиме (Bias Assist Function).

Электрическая принципиальная схема SMPS на микросхеме STR-W6754 и габаритный чертеж корпуса микросхемы серии STR-W6750 приведены на сайте журнала — <http://www.kit-e.ru/petr.rar>. ■

### Литература

1. Standby Power Use and the IEA “1-watt Plan” — [http://www.iea.org/papers/2007/standby\\_fact.pdf](http://www.iea.org/papers/2007/standby_fact.pdf)
2. <http://www.sanken-ele.co.jp/en/index.php>
3. Sanken Products — <http://www.allegromicro.com/en/Products/Categories/Sanken/index.asp>
4. New Release, September 11, 2009 — <http://www.sanken-ele.co.jp/en/news/contents/20090911e.htm>
5. Series STR-W6750 Off-Line Quasi-Resonant Switching Regulators — <http://www.allegromicro.com/en/products/design/an/an28103030.pdf>