

В данной статье будет рассмотрена конструкция блока питания (БП) GoldenField LL1800Wn его полного аналога в форм-факторе ATX Senlifang SDGR-2000ETH под управлением набора микросхем CM6901 (контроллер резонансного инвертора и синхронного выходного выпрямителя), CM6502S (контроллер APFC) и GR8313 (супервайзер БП ATX). Приводимая информация в полной мере применима и к другим блокам питания, построенным на указанных ИМС, вследствие общей схожести схемотехнических решений и OEM-политики производителей, когда одно и то же устройство выпускается с минимальными изменениями по заказу разных торговых марок.

На протяжении долгого времени импульсные блоки питания (БП) персональных компьютеров строились по привычной и хорошо известной топологии прямоходового преобразователя. Однако данное решение имеет свои недостатки, прежде всего, относительно большие массогабаритные показатели, притом что растущая мощность компьютеров вынуждает производителей повышать выходную мощность БП, но используя тот же самый форм-фактор ATX. Известно, что уменьшение размеров возможно посредством увеличения частоты преобразования, но одновременно с этим растут коммутационные потери, а также и стоимость продукции по причине невозможности использования на высоких частотах массовых и относительно недорогих полупроводниковых приборов.

Перешагнуть отметку в 100 А выходного тока для бюджетного ATX блока питания стало возможным благодаря широкому внедрению топологии резонансного преобразования, ранее являвшейся прерогативой устройств высшего ценового сегмента, вроде Enermax. Катализатором развития в данном случае стала захлестнувшая мир волна «майнинга» криптовалют, обеспечившая стабильный спрос не только на видеокарты, но также мощные и недорогие источники питания для них. Появившиеся на рынке «фермы» промышленного изготовления, использующие специализированные чипы (ASIC, сокр. от англ. Application-specific Integrated Circuit) для майнинга, фактически закрепили неписанный стандарт на данные БП: выходной ток порядка 100 А по шине +12 В, опциональность выходных напряжений +5 и +3,3 В, габариты близки к стандартным ATX или равны им. Наряду с этим китайскими производителями поставлен на конвейер широкий ассортимент менее мощных и более дешевых традиционных БП ATX, выполненных по идентичной или очень близкой схеме, которые можно встретить на нашем рынке под брендами AeroCool, Dexr, FinePower, Gigabyte и т.п.

В этой статье рассматривается конструкция и схемотехника блока питания GoldenField LL1800W и его ATX-аналога Senlifang SDGR-2000ETH под управлением набора микросхем в следующем составе:

- CM6901 фирмы Champion Microelectronic, это контроллер резонансного инвертора и синхронного выходного выпрямителя;
- CM6502S, это контроллер активного корректора коэффициента мощности (АККМ или англ. APFC);
- GR8313 фирмы Grenergy, это супервайзер БП ATX. Приводимая информация в полной мере применима и к другим БП, построенным на указанных ИМС вследствие общей схожести схемотехнических решений и OEM-политики производителей.

Внешний вид рассматриваемой модели блока питания со снятой крышкой приведен на рис. 1.

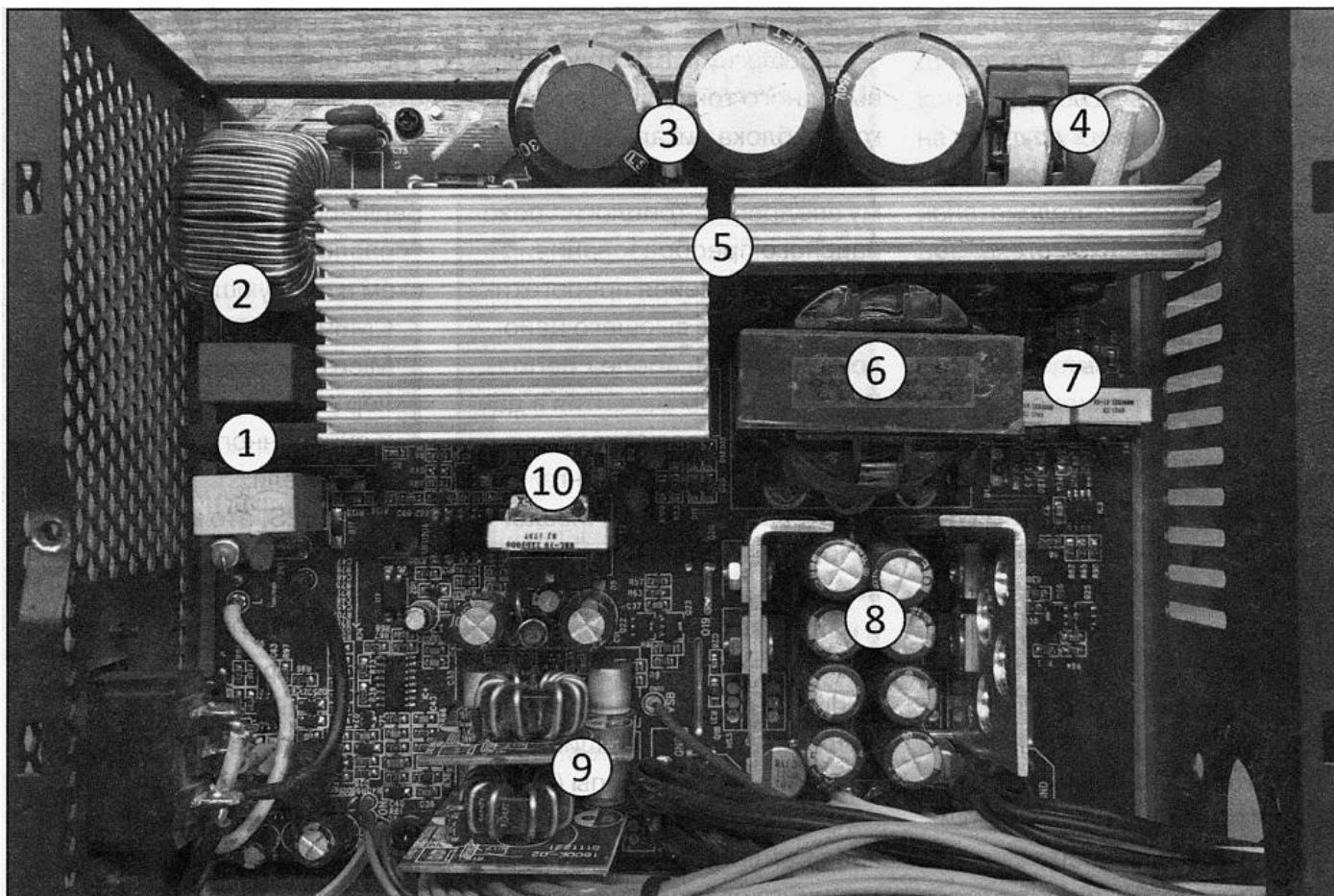


Рис. 1. Внешний вид блока питания GoldenField LL 1800W со снятой крышкой, где: 1 — входной диодный мост (BD1), 2 — дроссель PFC (L1), 3 — конденсаторы фильтра (C1), 4 — резонансный дроссель и конденсатор инвертора (L5, C3), 5 — радиатор элементов PFC и инвертора, 6 — силовой трансформатор (T1), 7 — ТГР и драйверы инвертора, 8 — синхронный выпрямитель и выходные конденсаторы шины напряжения +12 В, 9 — модули DC-DC преобразователей (шины напряжений +3,3 и +5 В), 10 — трансформатор и MOSFET-транзистор узла питания дежурного режима (T2, Q7)

Примечание. По причине разнообразия конечных реализаций продукта нумерация элементов на приведенных фрагментах принципиальных плат может не соответствовать тому или иному аппарату. Кроме того, возможно присутствие в схеме тех или иных изменений, вносимых производителем.

Внимание! Перед проведением любых работ и/или измерений в цепях источника питания необходимо разрядить конденсаторы фильтра выпрямленного напряжения с помощью мощного резистора или лампы накаливания и убедиться, что напряжение на них снизилось до безопасного уровня.

В БП для ASIC «ферм», не имеющих разъема ATX для питания материнской платы, первичные цепи всегда находятся под напряжением сети, т.к. кнопка включения коммутирует сигнал «Power On», а не линию питания!

В резонансном источнике питания инвертор нагружен на колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных дросселя, первичной обмотки силового трансформатора и конденсатора (топология LLC — «две индуктивности, одна емкость»). При этом рабочая частота инвертора близка к резонансной частоте контура, а регулирование выходного напряжения осуществляется путем подстройки частоты преобразования — приближение ее к резонансной увеличивает количество передаваемой в нагрузку энергии. Данный подход позволяет, во-первых, превратить паразитные емкости и индуктивности преобразователя в полезные (т.к. все элементы преобразователя становятся частью колебательного контура), а во-вторых, радикально снизить потери, коммутируя ключи при нуле напряжения (ZVS, сокр. от англ. Zero Voltage Switching) благодаря синусоидальной, независимо от внешних условий, форме напряжения в колебательном контуре. Дальнейшее увеличение КПД достигается путем отказа от традиционного выходного выпрямителя на диодах Шоттки в пользу узла синхронного выпрямления на MOSFET-транзисторах с низким сопротивлением открытого канала $R_{DS(ON)}$. Однако при небольших нагрузках возникает ситуация, когда частоту преобразования нужно существенно сдвинуть в сторону от резонансной, и в этом заключается один из «подводных камней» топологии — теоретически, при стремящемся к нулю токе нагрузки частота преобразования должна быть увеличена до бесконечно высокой, что на

практике невозможно. Для исключения подобной ситуации при небольших нагрузках контроллер автоматически переключается в традиционный режим ШИМ управления со всеми присущи ми ему недостатками (в частности, сильный нагрев ключевых элементов из-за коммутационных потерь, на что не рассчитана система охлаждения). Именно поэтому резонансные БП рекомендуется эксплуатировать под нагрузкой, близкой к максимальной. С другой стороны, необходимо не забывать о традиционном для производителей «третьего эшелона» завышении заявленных характеристик и не допустить перегрузки источника питания.

Хотелось бы отметить, что старое эмпирическое правило «чем тяжелее — тем лучше» не работает применительно к резонансным блокам питания. И; индуктивные элементы имеют малые размеры из-за высокой рабочей частоты, а радиаторы охлаждения — небольшой вес из-за низких потерь на силовых полупроводниках. В итоге устройство получается весьма компактным и «холодным».

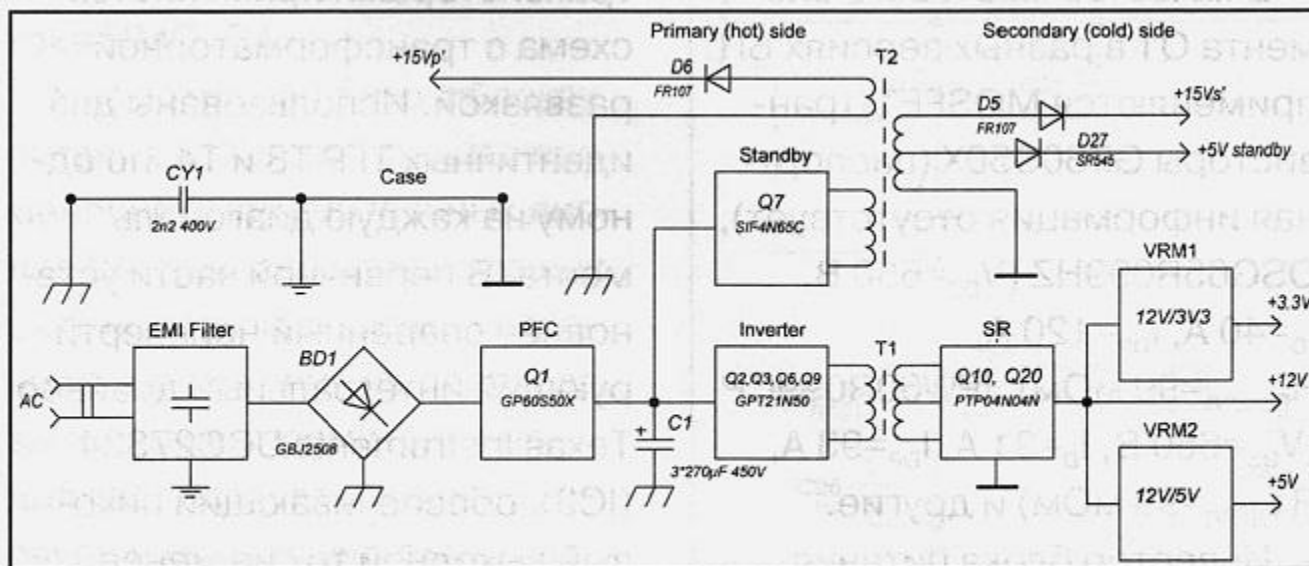


Рис. 2. Упрощенная структурная схема блока питания

Упрощенная структурная схема рассматриваемого БП приведена на рис. 2, на ней не приведены цепи контроля и управления. Сетевое напряжение через фильтр электромагнитных помех поступает на диодный мост BD1 (GBJ2508) или аналогичный ($V_R=800$ В, $I_F=25$ А), затем на узел коррекции коэффициента мощности APFC, управляемый ИМС CM6502S (IC1). Для фильтрации напряжения используются, в зависимости от мощности БП, 2-3 конденсатора емкостью 270...330 мкФ на напряжение 420...450 В (обозначены как C1).

Узел питания дежурного режима формирует выходное дежурное напряжение +5 В (+5V standby) и два вспомогательных напряжения +15 В (+15Vp и +15Vs), используемых для питания цепей управления в первичной и вторичной частях блока соответственно. В целях обеспечения гальванической развязки этих линий питания трансформатор дежурного режима T2 имеет две отдельных вторичных обмотки. В качестве ключевого элемента применен MOSFET-транзистор SIF4N65C фирмы Shenzhen SI Semiconductors ($V_{DS}=650$ В, $I_D=6$ А, $I_{DP}=16$ А) в корпусе D²PAK. Собственно узел питания выполнен по хорошо известной топологии обратноходового преобразователя (в частности, ряд подобных узлов был подробно описан в [4]) и не имеет каких-либо отличительных особенностей, потому в рамках настоящей статьи детально рассматриваться не будет.

Инвертор, силовой трансформатор T1, и синхронный выпрямитель формируют напряжение на шине напряжения +12В. Эти узлы управляются ИМС Champion Microelectronic CM6901X (IC4). В ATX блоках питания опционально устанавливаются дополнительные DC/DC-преобразователи, формирующие выходные напряжения +3V3 и +5V. ИМС супервайзера питания GR8313 (U3) отслеживает величины напряжений на выходах БП и формирует сигнал Power Good, если они находятся в допустимых рамках, а также управляет вспомогательными напряжениями.

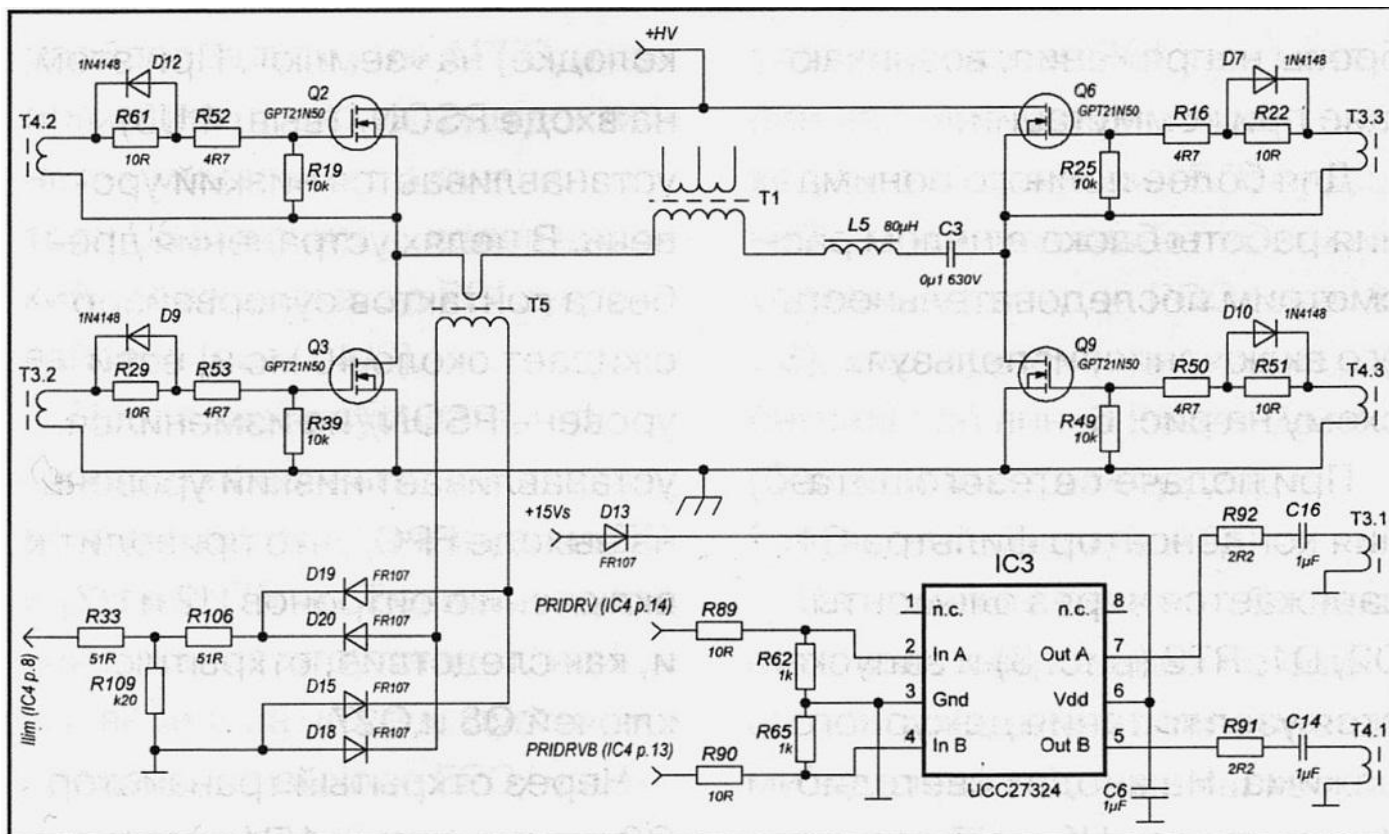


Рис. 4. Принципиальная схема инвертора блока питания

Инвертор блока питания (рис. 4) построен по схеме полного моста на четырех транзисторах Q2, Q3, Q6, Q9 типа GPT21 N50 ($V_{DS}=500$ В, $I_D=20$ А, $I_{DP}=82$ А, $R_{DS(ON)}=0,2$ Ом), SIF18N50C ($V_{DS}=500$ В, $I_D=18$ А, $I_{DP}=72$ А, $R_{DS(ON)}=0,28$ Ом) или аналогичных в изолированном корпусе TO-220FP. Кстати, во многих БП имеются дополнительные отверстия на плате, что позволяет использовать гораздо более доступные транзисторы в корпусе TO-247 (TO-3P) без каких-либо переделок, если не считать таковой установку изолирующих прокладок между корпусами транзисторов и радиатором.

Для управления ключевыми транзисторами применяется схема с трансформаторной развязкой. Используются два идентичных ТГР Т3 и Т4, по одному на каждую диагональ моста. В первичной части установлен спаренный неинвертирующий интегральный драйвер Texas Instruments UCC27324 (IC3), обеспечивающий пиковый выходной ток не менее ± 4 А. На вход ИМС драйвера поступают сигналы управления преобразователем с контроллера CM6901X (IC4).

В соответствии с топологией резонансных преобразователей питания последовательно с первичной обмоткой силового трансформатора Т1 включены дроссель L5 и конденсатор C3. Кроме того, в эту же цепь включена первичная обмотка трансформатора тока Т5. Напряжение в вторичной обмотки Т5, величина которого пропорционально току, протекающему в рассматриваемой цепи, выпрямляется диодным мостом D15 D18-D20 и через резистивный делитель подается на вход контроля тока ИМС IC4.

Несмотря на то что в блоках питания АТХ общепринято применение выпрямительных диодов Шоттки, характеризующихся относительно низким падением напряжения на переходе, выходной выпрямитель продолжает оставаться самой горячей и малоэффективной частью устройства. Так, для популярного диода MBR4035 $V_F=0,6...0,8$ В в зависимости от температуры и величины протекающего тока. Учитывая то, что выходной ток рассматриваемых БП может превышать 100 А по шине +12 В, путем несложных подсчетов можно установить, что использование трех параллельно включенных MBR4035 приведет к потерям около 80 Вт, выделяемых в виде тепла.

Общезвестно, что сопротивление открытого канала низковольтных MOSFET-транзисторов измеряется единицами мОм. Например, для недорогого транзистора IRFB7437 $R_{DS(ON)} \leq 2$ мОм при $I_D=100$ А, что при тех же вводных сокращает тепловыделение в четыре раза, до приблизительно 20 Вт. Очевидным решением вопроса улучшения эффективности работы БП стал отказ от «обычных» диодов в пользу синхронных выпрямителей на основе MOSFET-транзисторов. Схема выпрямителя рассматриваемого блока питания приведена на рис. 5.

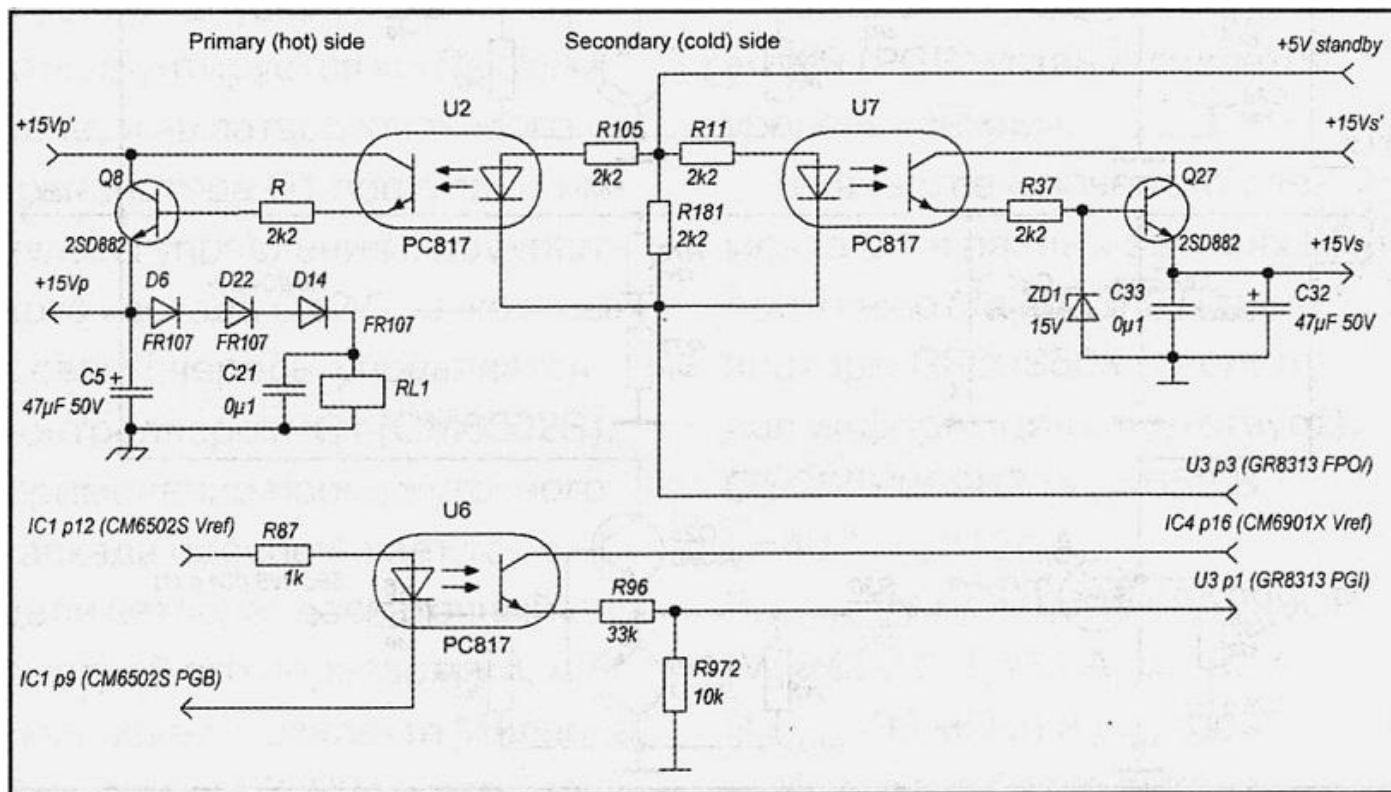


Рис. 6. Вспомогательные линии питания и управления

При подаче сетевого питания конденсатор фильтра С1 заряжается через элементы D2, D1, RT2 (рис. 3) и запускается узел питания дежурного режима. На анодах светодиодов оптронов U2 и U7 появляется дежурное напряжение +5V standby, а на коллекторах соответствующих фототранзисторов — гальванически развязанные напряжения +15Vp' и + 15Vs'. Кроме того, дежурным напряжением запитывается супервайзер блока питания GR8313 (U3). При этом на его выходе FPO/ (выв. 3) устанавливается высокий уровень, тем самым светодиоды оптронов U2 и U7 удерживаются в выключенном состоянии.

Блок питания АТХ, как известно, включается замыканием сигнальной линии Power On (зеленый провод в контактной колодке) на «землю». При этом, на входе PSOn/ (выв. 4 U3) устанавливается низкий уровень. В целях устранения дребезга контактов супервайзер ожидает около 40 мс и, если уровень PSOn/ не изменился, устанавливает низкий уровень на выходе FPO/, что приводит к включению оптронов U2 и U7, и, как следствие, открытию ключей Q8 и Q27. Через открытый транзистор Q8 напряжение +15Vp поступает на вход питания контроллера APFC CM6502S (IC1). При этом появившееся на выходе Vref (выв. 12 IC1) напряжение величиной 7,5 В поступает на анод светодиода U6. Происходит запуск узла APFC, и по выходу в состояние готовности (отслеживается по уровню сигнала Vfb, выв. 13 IC1, см. рис. 3) устанавливается низкий уровень сигнала PGB (выв. 9 IC1), включая оптрон U6.

Одновременно с этим напряжение +15Vp, ограниченное цепью D6 D22 D14 до величины примерно 11,4 В, подается на обмотку реле RL1. Реле включается и шунтирует своими контактами токоограничительный резистор RT2 (рис. 3).

Во вторичной, т.н. «холодной», части БП напряжение +15Vs через открытый транзистор Q27 поступает на входы питания контроллера CM6901X (IC4) и драйвера UCC27324 (IC3), тем самым запуская инвертор БП. При этом, появившееся на выходе Vref (выв. 16 IC4) напряжение величиной 7,5 В поступает на коллектор фототранзистора U6. После того как произойдет запуск узла APFC, и напряжение на его выходе достигнет номинального значения, оптрон U6 включится, подав высокий уровень на вход PGI супервайзера (выв. 1 U3).

После этого супервайзер ожидает появления номинального выходного напряжения БП в течение 75 мс. Если выходное напряжение отсутствует, или его величина ниже допустимого предела, на выходе FPO/установится высокий уровень, что приведет к выключению оптронов U2 и U7, и, как следствие, переходу БП в дежурный режим. Для повторного перезапуска блока питания потребуются разомкнуть и снова замкнуть сигнальную линию Power On. То же самое произойдет, если в процессе работы БП выходное напряжение уйдет за допустимые пределы.

Спустя примерно 300 мс от момента появления высокого уровня на входе PGI, при условии наличия номинального выходного напряжения БП, супервайзер устанавливает высокий уровень на выходе PGO (выв. 8 U3), к которому подключена сигнальная линия Power Good (белый или серый провод в контактной колодке АТХ).

Из практики ремонта блоков питания, построенных по описанной схеме, наиболее частыми неисправностями является выход из строя силовых ключей узлов APFC (Q1) и инвертора (Q2, Q3, Q6, Q9), сопровождаемый частичным повреждением соответствующих элементов в цепях затворов (в редких случаях вплоть до обрыва вторичных обмоток ТГР Т3, Т4 и пробоя выходных каскадов драйвера IC3). При ремонте необходимо обязательно проверять значения емкости и ЭПС (англ. ESR) конденсаторов фильтра С1, поскольку существенная их деградация приводит к отказу APFC. Значительный процент поломок БП вызывается отказом вентилятора охлаждения. Случаи выхода синхронного выпрямителя из строя в данных блоках питания автору не встречались.

Литература

1. Sanjaya Maniktala — Understanding and Using LLC Converters to Great Advantage; Microsemi. 2013.
2. Fairchild — Application note AN-4151 — Half-Bridge LLC Resonant Converter Design. 2014.
3. Калашник В. Синхронный выпрямитель. Радио № 8, 2013.
4. Александр Коростелин. Диагностика и ремонт силовой части сварочных инверторов «Ресанта САМ» и аппаратов плазменной резки «Ресанта ИПР». Ремонт & Сервис, № 10, 2018.

Ссылки