

# Высоковольтный импульсный источник питания большой мощности с управлением от микропроцессора

(часть 2)

Евгений Владимиров, Владимир Ланцов,  
Ольга Лебедева (Санкт-Петербург)

Рентгеновская трубка, как специфический тип нагрузки, определяет существенные особенности построения и работы Высоковольтных источников питания (ВИП). В этой части статьи приведены схемы ВИП для питания рентгеновских трубок, в том числе с микропроцессорным управлением, отмечены особенности функционирования ВИП, его устройств и компонентов, описан алгоритм управления.

## Высоковольтный импульсный источник питания рентгеновской трубки с микропроцессорным управлением

Дальнейшее развитие ВИП РТ и создание нового поколения высоковольтных источников связано с

оптимизацией структуры, схемотехники и компонентной базы. Основными направлениями совершенствования ВИП РТ, обеспечивающими улучшение характеристик и повышение надёжности последних, являются:

- отказ от низкочастотного опто-тиристорного регулятора-выпрямителя

в контуре управления выходным напряжением и замена его на покупной управляемый источник питания преобразовательного типа;

- использование покупного импульсного источника питания для CAT;
- применение в УУСК более современного и более совершенного IGBT-модуля со стандартным драйвером управления;
- введение микропроцессорного (МП) управления каналами напряжения и тока, позволяющего оптимизировать как контроль, так и защиту ВИП РТ.

Все эти идеи были реализованы в новой модели импульсного ВИП РТ,

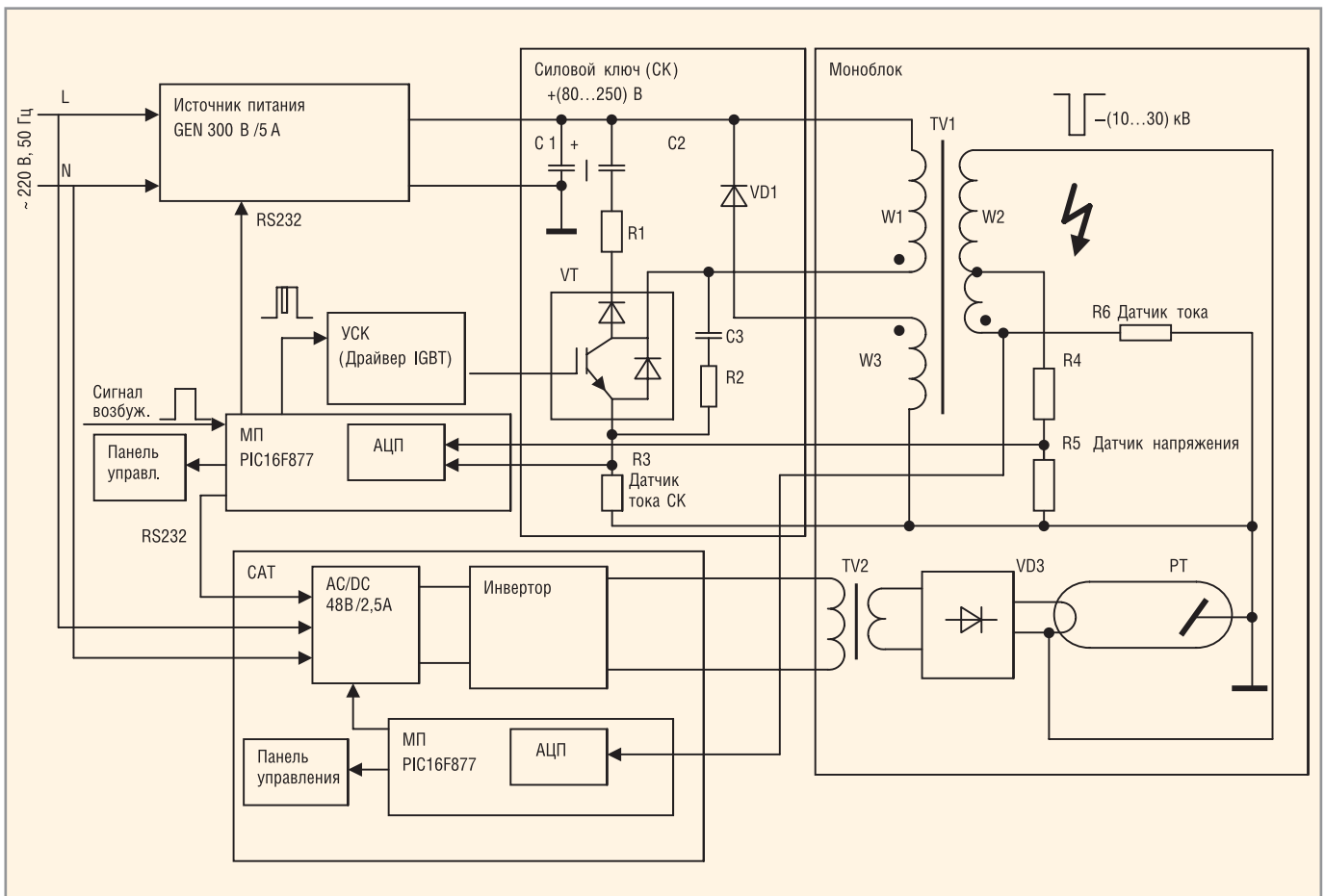


Рис. 5. Схема ВИП-30-300

условно названного ВИП-30-300, с выходным импульсным напряжением –10...–30 кВ, током нагрузки до 300 мА и средней выходной мощностью до 1,2 кВт.

На рис. 5 приведена схема ВИП-30-300. В качестве источника питания СК использован блок питания Genesys мощностью 1500 Вт (GEN300-5) фирмы Nemic Lambda [6]. Источник хорошо встраивается в промышленный конструктив 19" и имеет вход управления выходным напряжением по интерфейсу RS232. Высокая стабильность при изменении тока нагрузки позволяет отказаться от обратной связи по среднему значению выходного высокого напряжения, ограничившись использованием выходного делителя R4, R5 только для измерения напряжения. В качестве силового ключа выбран IGBT-модуль SKM300GAL128D фирмы Semikron (1200 В, 300 А, 2500 Вт), в который интегрированы не только обратный (антипараллельный), но и свободный диод.

Подробные характеристики SKM300GAL128D, как и ранее упомянутых IGBT-модулей, приведены в табл. 2. Отличительными особенностями модуля SKM300GAL128D являются: SPT-технология семейства Semitrans 3, встроенный в мо-

дуль как обратный (инверсный), так и свободный диоды, высокая стойкость к короткому замыканию, самоограничение коллекторного тока при ограничении напряжения на затворе.

Для оптимального управления SKM300GAL128D используется рекомендуемый фирмой драйвер SKHM110/12 (Semikron) для мощных IGBT-модулей. Этот драйвер в свою очередь имеет следующие особенности:

- драйвер пригоден для управления всеми мощными IGBT-модулями фирмы Semikron с напряжением UCES × 1200 В;
- по входу драйвер совместим с КМОП/ТТЛ-устройствами;
- выходное напряжение/ток: + 15 В, – 8 В/8 А (в импульсе);
- максимальная частота: 100 кГц;
- время задержки включения/выключения: 1/1,4 мкс;
- напряжение изоляции вход-выход: 1200 В (обеспечивается трансформатором, а не опторазвязкой),
- напряжение изоляции относительно корпуса: 2500 В;
- допустимая скорость нарастания напряжения  $dU/dt \times 75$  кВ/мкс;

Схема и конструкция ВИП РТ при заявленной выше выходной мощности универсальны. Но если дли-

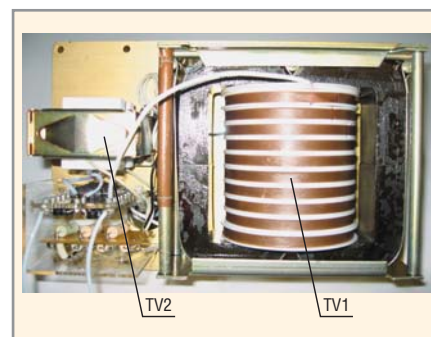


Рис. 6. Внутренний вид крышки с установленными элементами

тельности импульсов возбуждения значительно изменяются, то это приводит к изменению конструкции и характеристик силового импульсного трансформатора. В сводной таблице 4 для наглядности представлены характеристики, электрические и конструктивные параметры силового импульсного трансформатора ВИП-30-300 для различных исполнений. Наряду с электрическими параметрами существенное значение имеет конструктивное исполнение трансформатора. Так, для получения более коротких импульсов с длительностью фронтов не более 10% от длительности импульса высоковольтная обмотка должна быть выполнена секционированной. Конструктивно

Таблице 4. Характеристики, электрические параметры и конструктивные данные силового импульсного трансформатора ВИП-30-300 для различных исполнений

Характеристики	Численные значения:		
	Исполнение 1	Исполнение 2	
<b>Параметры импульсов</b>			
Частота следования, кГц	2	0,25	
Длительность импульсов, мкс	100...10	500...50	
Скважность импульсов	5	8	
Амплитуда входных импульсов, В	0 – 250	0...250	
Амплитуда выходных импульсов, кВ	10 – 30	10...35	
Максимальная выходная мощность, кВт:			
	- в импульсе	9,0	12,0
- среднее значение (за период)	1,8	1,2	
Длительность фронта выходных импульсов, мкс	8...10	40...60	
<b>Технические данные и конструктивные особенности</b>			
Число витков	- первичная обмотка (w1)	20	45
	- вторичная (в/в) обмотка (w2)	3000	6800
	- размагничивающая обмотка (w3)	40	180
Индуктивность намагничивания, Гн:	- первичная обмотка	0,0008	0,0028
	- вторичная (в/в) обмотка	14	64
Индуктивность рассеивания, мГн:	- первичная обмотка	0,01	0,04
	- вторичная (в/в) обмотка	2	1040
Магнитопровод	ПЛ20 × 40 × 100. Материал – электротехническая сталь 33425 0,08 мм		
Намоточные данные	Цилиндрическая для 1-й и секцион. 2-й катушки на фторопласт. каркасе	Цилиндрическая 1-й и 2-й (в/в) катушек на одном каркасе	

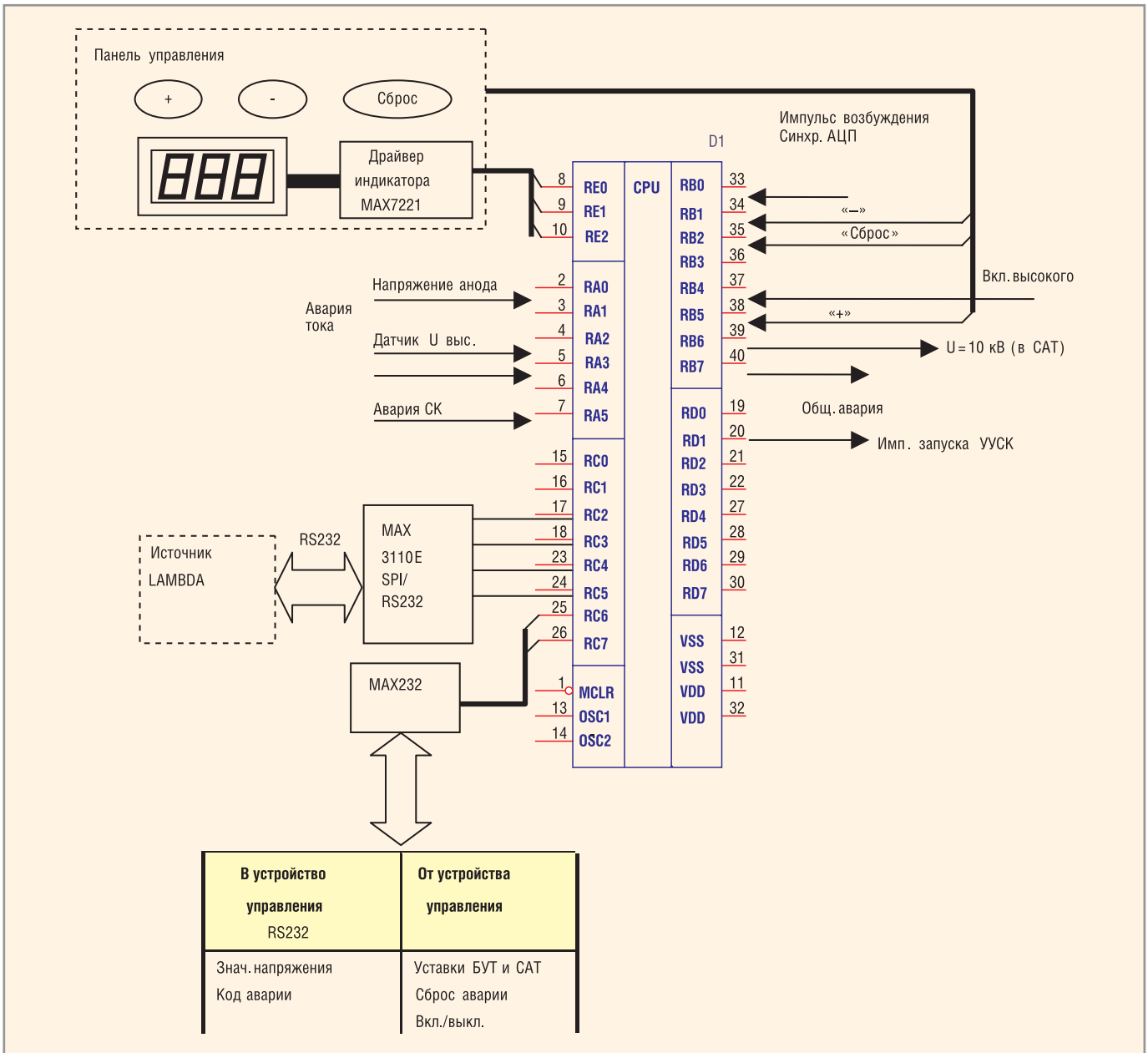


Рис. 7. Функциональная схема МП-контроллера контура управления напряжением

высоковольтная часть ВИП РТ изготавливается в виде моноблока, состоящего из маслонаполненного корпуса с РТ и крышки, на которой размещены силовой трансформатор, трансформатор накала, датчики тока и напряжения РТ. Внутренний вид крышки с установленными элементами показан на рис. 6. В рабочем положении все эти элементы находятся в масле для обеспечения электрической изоляции и охлаждения.

При использовании ВИП РТ в промышленной аппаратуре очень важно не нарушать режим охлаждения и не допускать перегрева моноблока и нагрузки (РТ). Обычно РТ и моноблок охлаждаются проточной водой, поток которой контролируется специальным датчиком. Кроме того, тем-

пература анода РТ контролируется датчиком на основе биметаллического предохранителя. Если превышена предельная рабочая температура, подача импульсов возбуждения прекращается и возобновляется после устранения причины перегрева.

Оптимальным решением управления ВИП-РТ, позволяющим «вписать» ВИП в систему АСУ в качестве технологического оборудования, является включение в состав ВИП двух микропроцессоров типа PIC16F877. Один МП встроено в контур управления высоким напряжением, а другой – в схему управления током. МП в контуре управления напряжением выполняет функцию ведущего. Через него осуществляется связь с внешним устройством управления по интерфейсу RS232. Второй порт

RS232 этого МП предназначен для управления источником GEN300-5 в соответствии с уставками напряжения, которые поступают через первый порт. Порт SPI использован для связи с МП контура тока. Возбуждение (модуляция) ВИП подается от внешнего источника на МП контура управления напряжением, который запускает СК через устройство управления УУСК. Синхронно с запуском оба МП с помощью встроенных АЦП выполняют цифровое измерение амплитуды импульсов выходного напряжения и тока. Генерирование «врезки» может быть осуществлено либо с помощью схемы на дискретных элементах, либо программными средствами МП.

МП в контуре тока выполняет как функцию регулировки (установки)

тока РТ, так и функцию стабилизации заданного тока при изменении выходного напряжения источника. Стабилизация необходима из-за нелинейных вольтамперных характеристик нагрузки – РТ.

Остановимся подробнее на микропроцессорных контроллерах. Схемы контроллеров для контура тока и напряжения различаются мало. Базой контроллеров служит известный МП PIC16F877 фирмы Microchip с частотой процессора 20 МГц. МП имеет флэш-ПЗУ (Flash Program Memory) объёмом 14 Кб, ОЗУ (RAM) объёмом 368 байт и энергонезависимую память EEPROM объёмом 256 байт. Последняя очень удобна для хранения параметров настройки.

Рассмотрим для примера МП-контроллер контура управления напряжением, функциональная схема которого представлена на рис. 7.

Микропроцессор D1 имеет два канала связи по интерфейсу RS232: с управляемым источником питания СК через драйвер MAX 3110E (SPI/RS232) и через драйвер MAX 232 с внешним блоком управления, от которого задаются значения тока и напряжения. Порт аналогового ввода RA принимает импульсный сигнал датчика высокого напряжения и сигнал напряжения анода СК. Измерение аналоговых сигналов производится встроенным АЦП синхронно с сигналом внешнего возбуждения, поступающего в порт RB0. Этим достигается непосредственное, без промежуточного интегрирования, измерение амплитуды напряжения. Порт RE и отдельные биты порта RB используются для взаимодействия с выносной панелью управления. На панели имеется цифровой индикатор напряжения, на который выводится нормированный результат АЦП. Аналогично организована индикация контура тока нагрузки. На панели также расположены кнопка «Сброс» и кнопки увеличения (+) и уменьшения (-) напряжения и тока. Контроллер принимает от схемы СК сигнал перегрузки по току, а также сигнал аварии из контура управления током нагрузки. Генерирование сигнала управления СК с наложенной «врезкой» возможно только для варианта с длительностью импульса 500 мкс.

Укрупнённая схема алгоритма работы МП-контроллера приведена на рис. 8.

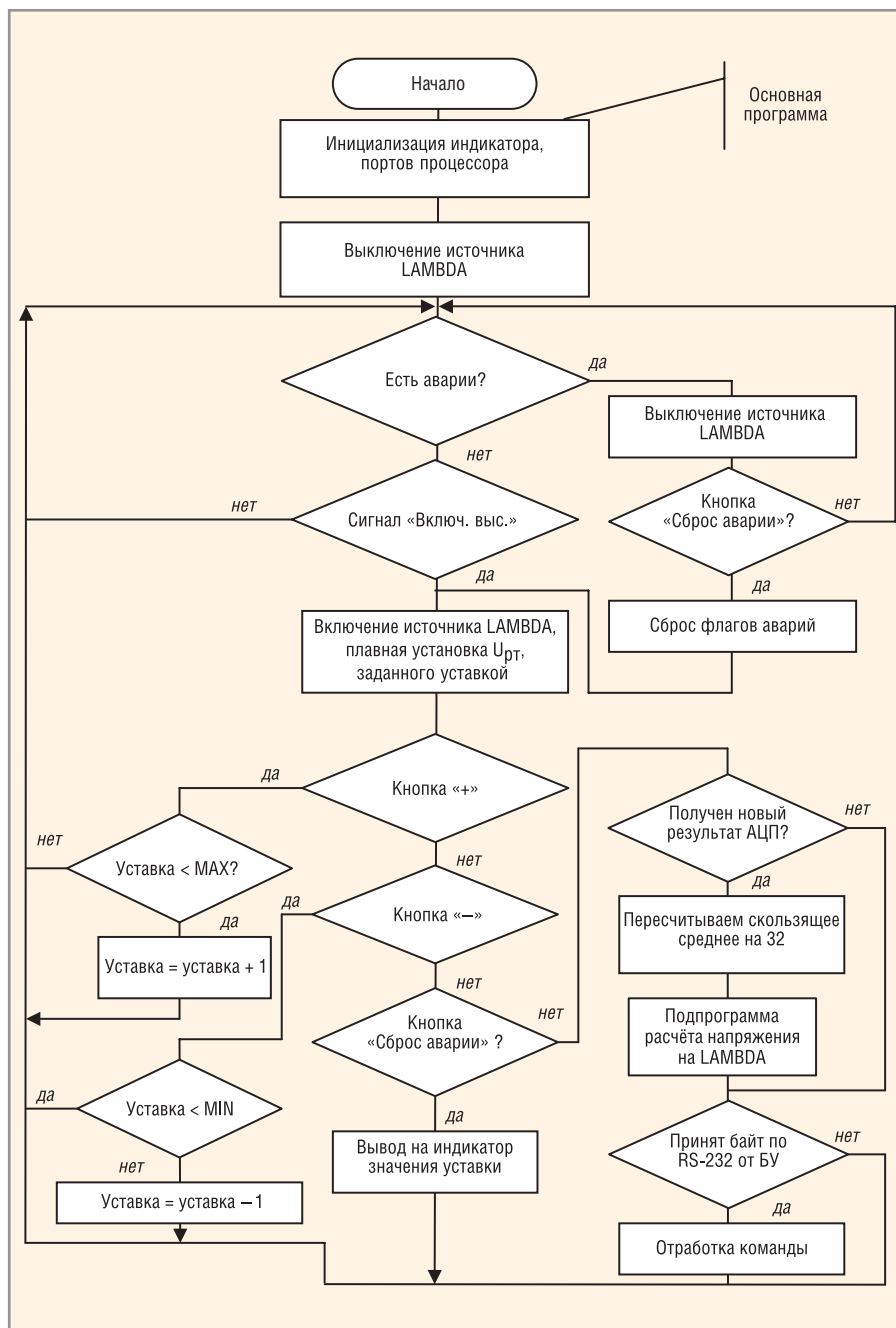


Рис. 8. Укрупнённая схема алгоритма работы МП-контроллера

Ниже представлено описание шагов алгоритма:

1. По включению питания контроллер устанавливает исходное состояние выходов, выводит на табло символы « - - ». Из энергонезависимой памяти EEPROM МП считывает уставку напряжения. Если эта уставка выходит за допустимые границы, по умолчанию устанавливается 10 кВ;
2. Устанавливается связь с источником LAMBDA. Выдаваемая последовательность команд:
  - 'ADR 6.' – адресация источника;
  - 'PV 0.' – установка напряжения 0 В;
  - 'OUT 0.' – отключение выхода источника.

На каждую из этих команд источник должен ответить посылкой 'OK'. Если МП не получает ответа на команду адресации, то он повторяет эту команду. Если МП не получает ответа и второй раз, на индикатор выдается сообщение об отсутствии связи с источником – 'LA';

3. Далее проверяются аварии:
  - авария САТ (лог. сигнал от контроллера САТ);
  - авария СК (лог. сигнал);
  - авария перегрузки по напряжению (напряжение >3,5 В);
  - авария перегрузки по питанию.
 На индикаторе отображаются аварийные сообщения в порядке убывания приоритета:

- ПП – перегрузка по питанию;
- LA – отсутствие связи с LAMBDA;
- CC – авария СК;
- CA – авария САТ;
- ПА – авария перегрузки по напряжению.

Любая авария сбрасывается нажатием кнопки «Сброс аварии» (RESET);

4. Если аварий нет и высокое выключено, на индикаторе появляется сообщение OF. МП ждёт сигнала включения высокого. В этом режиме по нажатию кнопки RESET на индикаторе индицируется заданная уставка в формате X.X.X. (т.е. после каждой цифры стоит точка в отличие от индикации реального значения напряжения при включенном высоком). Для редактирования уставки одновременно нажимаются кнопка RESET и кнопка «+» или «-». МП осуществляет контроль допустимости значения уставки.

По отпусканию кнопки RESET выполняется запись уставки в EEPROM МП;

5. Если высокое включено, командой 'OUT 1.' включается источник и напряжение на источнике LAMBDA повышается до уставки за 10...15 с последовательно выдаваемыми командами 'PV xxx.', где xxx – значение напряжения. На каждую из этих команд источник должен ответить посылкой 'OK'.

Если МП не получает ответа, на индикатор выдаётся сообщение об отсутствии связи с источником – 'LA';

6. При достижении  $U = 10$  кВ выдаётся сигнал включения тока в САТ;

7. Через 60 мкс после начала импульса синхронизации запускается АЦП сигнала анодного напряжения. Результат заносится в массив измерений размерностью 32. По этому массиву вычисляется скользящее среднее значение, которое выводится на индикатор и анализируется при реализации обратной связи;

8. Для увеличения или уменьшения напряжения используются кнопки «+» и «-» соответственно. Значение тока, установленное при помощи кнопок, сохраняется до выключения высокого или до аварии. МП также осуществляет стабилизацию напряжения до значения, заданного уставкой или кнопками;

9. Каждые 500 мкс контролируются аварии (см. шаг 3). При аварии отключается источник LAMBDA, устанавливается напряжение 0, на индикатор выводится сообщение об аварии. При выключении высокого также отключается источник LAMBDA и устанавливается напряжение 0:

- 'PV 0.' – установка напряжения 0 В;
- 'OUT 0.' – отключение выхода источника.

Любая авария сбрасывается по нажатию кнопки «Сброс» (RESET). Далее МП переходит к шагу 4 алгоритма.

ВИП-30-300 для питания рентгеновской трубки БХВ-18 или аналогичной БХВ-6 имеет следующие характеристики:

питание от однофазной сети переменного тока .....	220 В, 50 Гц;
выходное высокое напряжение в импульсе .....	10...30 кВ;
выходной (анодный) ток .....	20...300 мА;
максимальная выходная импульсная мощность .....	9 кВт;
максимальная выходная средняя мощность (исполнение 1) .....	1,8 кВт;
максимальная выходная средняя мощность (исполнение 2) .....	1,2 кВт;
частота следования импульсов/скважность (исполнение 1) .....	2000 Гц / 5;
частота следования импульсов/скважность (исполнение 2) .....	250 Гц / 8;
управление: от встроенных микроконтроллеров;	
габариты моноблока с установленной РТ, мм ...	460 × 215 × 300;
габариты блока управления, мм .....	480 × 460 × 220.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка высоковольтных импульсных модуляторов большой мощности для питания мощных СВЧ-приборов (магнетронов и клистронов), рентгеновских трубок и других специальных нагрузок представляет собой сложную техническую задачу. До сих пор такие модуляторы часто выполняются с использованием громоздких низкочастотных источников высокого напряжения с ключевыми элементами на основе мощных газоразрядных приборов (питание магнетронов и клистронов) или модуляцией напряжения в самой нагрузке (рентгеновские трубки).


На примере высоковольтных импульсных источников питания мощных рентгеновских трубок (ВИП РТ) показана практическая возможность

создания ВИП более современных по структуре, по компонентной базе и, соответственно, более надёжных и обладающих лучшими массогабаритными характеристиками. В реализованных моделях ВИП-35-350 (35 кВ, 350 мА, 12 кВт в импульсе) и особенно в ВИП-30-300 (30 кВ, 300 мА, 9 кВт в импульсе) конкретно показаны продекларированные преимущества. При создании новых ВИП были использованы:

- управляемые источники питания преобразовательного типа, работающие на высокой частоте;
- современные IGBT-модули с многофункциональными драйверами (например, фирмы Semikron);
- оптимизированные по параметрам высоковольтные импульсные трансформаторы;
- микропроцессорное управление каналами высокого напряжения и выходного тока, позволяющее оптимизировать как управление, контроль, так и защиту ВИП РТ от различных аварийных ситуаций.

Приведённые в статье материалы обзорного характера, обоснования и конкретные схемно-компонентные решения будут полезны при разработке современных высоковольтных импульсных источников питания большой мощности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов А.В. и др. Вопросы атомной науки и техники. 2001. № 3. Сер.: Ядерно-физические исследования (38). С. 93-94.
2. Полищук А.Г. Вопросы разработки твердотельных импульсных модуляторов для электровакуумных приборов СВЧ. Современная электроника. 2005. № 3.
3. Иванов С.А., Щукин Г.А. Рентгеновские трубки технического назначения. Ленинград: Энергоатомиздат. 1989.
4. <http://www.infineon.com>.
5. Каталог изделий ЗАО «Электровыпрямитель», 2006.
6. Ланцов В.В., Эраносян С.А. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Часть 3. Силовая электроника. 2007. № 2.
7. Генератор импульсов высокого напряжения. Свидетельство РФ № 8547. В.М. Потапов, Л.И. Богашев, М.В. Бабенков. 1998.
8. Блоки питания GENESYS/GEN300-5. <http://www.lambda-emi.com>.
9. Информационный диск фирмы Semikron «Каталог продукции 2006-2007». 

## OLED-рынок: поставки дисплеев снизились на треть

О перспективах OLED-дисплеев и их преимуществах перед конкурентами говорится повсеместно. Сторонников данной технологии особенно вдохновила новость об анонсе и поступлении в продажу первой модели телевизора Sony XEL-1 с экраном на органических светодиодах. Это означает расширение сферы применения OLED-экранов, которые сейчас можно встретить, в основном, в портативных плеерах и мобильных телефонах. В последнее время OLED-индустрия набирает вес, и вместе с увеличением размеров органических панелей растёт их популярность и уровень продаж. Однако цифры говорят о другом.

Исследования агентства DisplaySearch показали, что по итогам третьего квартала текущего года активность в OLED-сегменте заметно снизилась. Поставки органических панелей в среднем снизились на 32% в годовом исчислении и на 22% в квартальном. При этом доходы от реализации продукции упали в среднем соответственно на 38 и на 31%.

Одной из ключевых причин общего падения производства органических дисплеев специалисты считают незавидные результаты работы крупнейшего участника OLED-рынка, компании Samsung SDI. Ежемесячные поставки активных матриц на органических светодиодах (AMOLED) планировалось довести с 350 тыс. единиц во втором квартале до 1,5 млн. в третьем. Однако в итоге корейский производитель едва достиг уровня 100 тыс. дисплеев в месяц.

Другой немаловажной причиной ухудшения ситуации в OLED-индустрии в третьем квартале источник называет ухудшение показателей Pioneer и LG.Philips. Японская компания обеспечила на 32% дисплеев меньше в годовом исчислении. У LG Electronics ситуация ещё хуже. В результате перевода производственных ресурсов с пассивных органических матриц (PMOLED) на AMOLED-дисплеи корейская компания выпустила за последний квартал всего 310 тыс. ед. Для сравнения, во втором квартале было поставлено на порядок больше дисплеев – около 3,1 млн. шт.

Кроме того, источник указывает на чрезвычайно плохие результаты за третий квартал у компании Sony, объясняя это подготовкой к серийному производству первой модели телевизора на базе AMOLED-дисплея XEL-1.

Однако прошедший квартал стал провальным не для всех участников OLED-рын-

ка. Компании RiTdisplay удалось увеличить объём поставок органических дисплеев на 44% в годовом и на 35% в квартальном исчислении. По итогам за третий квартал, входящий в пятёрку лидеров тайваньский производитель взобрался с третьего на первое место с долей рынка 39,6%. За ним следует компания Samsung SDI с долей 26,7%, далее идут компании Pioneer (21,6%), TDK (6,8%) и eMagin (3,8%).

Несмотря на печальные результаты за прошедший квартал, специалисты из DisplaySearch прогнозируют быстрое восстановление OLED-рынка. По их мнению, ситуация начнёт резко исправляться уже в текущем квартале. Наиболее ощутимый подъём должен произойти в будущем году за счёт активных органических дисплеев, поскольку к их производству присоединятся некоторые другие компании.

[techon.nikkeibp.co.jp](http://techon.nikkeibp.co.jp)

## Рынок памяти: iSuppli корректирует прогноз

Избыток готовой продукции и постоянно снижающиеся цены на рынке модулей памяти (DRAM и NAND) вынудили известное аналитическое агентство iSuppli понизить краткосрочный прогноз его развития с нейтрального до негативного. Последняя корректировка прогноза производилась агентством в марте 2007 г. для рынка чипов флэш-памяти NAND и в июле 2007 г. для чипов памяти DRAM.

Согласно прогнозу агентства, средняя цена продажи (average selling price, ASP) 512-мегабитной микросхемы флэш-памяти NAND снизится в IV кв. 2007 г. на 24%: с \$0,60 до \$0,46 за чип. В течение двух предыдущих кварталов средняя цена продажи 512-мегабитного чипа NAND пусть и медленно, но верно увеличивалась, показав во втором квартале 2007 г. 6% роста, а в третьем – 8,4%.

«Основной причиной постоянного падения цен на микросхемы флэш-памяти NAND является их избыточное предложение на рынке, – утверждает Хэм Хьюнг Ким (Nam Hyung Kim), директор и ведущий аналитик отдела рынка памяти и систем хранения данных iSuppli. – Причём главными виновниками являются корейские компании, агрессивно переводящие собственные фабрики с производства чипов DRAM на чипы флэш-памяти NAND».

Не лучше обстоят дела и на рынке микросхем динамической памяти, где средняя цена продажи 512-мегабитного чипа DDR2 DRAM упала ниже отметки в \$1. Указанное падение цен, по мнению аналитиков iSuppli,

приведёт к убыткам производителей динамической памяти в IV кв. 2007 г. Убытки сохранятся и в первом квартале 2008 г.

[isuppli.com](http://isuppli.com)

## Спрос на стеклянные подложки продолжит рост в 2008 г.

Согласно прогнозу аналитического агентства Displaybank, спрос на стеклянные подложки – основной строительный материал для ЖК-панелей – к концу 2007 г. увеличится на 3,5 млн. кв. м в месяц и достигнет 15,9 млн. кв. м в IV квартале. По данным агентства, устойчивый рост спроса на стеклянные подложки продолжится и в будущем году, достигнув к концу четвёртого квартала уровня 18,5 млн. кв. м в месяц.

По мнению аналитиков агентства, стеклянные подложки пятого поколения (5G), составлявшие примерно 40% от всего объёма рынка в 2006 г., уступят свою долю и займут не более 32...34% рынка в 2008. Спрос на подложки пятого поколения сохраняется, в основном, со стороны производителей ЖК-панелей из материкового Китая. Лидирующие позиции в будущем году перехватит сегмент «подложки шестого поколения и старше» с удельным весом порядка 54%. Доля ЖК-панелей, получаемых из подложек восьмого поколения, увеличится до 8%.

Корея столкнётся с серьёзным увеличением спроса на подложки в конце второго квартала 2008 г., когда компании Samsung Electronics и LG Electronics запустят свои линии по производству ЖК-панелей на базе подложек восьмого поколения. Японская Sharp, первой в мире запустившая производственную линию восьмого поколения, также агрессивно увеличивает объёмы выпускаемой продукции. Проектная мощность только линии восьмого поколения на конец 2008 г. составляет 90 000 шт., а планы компании инвестировать в строительство производства подложек десятого поколения (10G) вносят ещё больше ажиотажа в умы инвесторов.

Не отстают от своих конкурентов и тайваньские производители – лидеры отрасли AU Optronics (AUO) и Chi Mei Optoelectronics (CMO). Так, согласно оценкам агентства, CMO намерена увеличить объём обрабатываемых подложек на производственной линии седьмого поколения от 50 000 шт. в месяц в конце 2007 г. до 75 000 шт. в месяц к концу 2008 г. AUO также планирует увеличить мощность линий седьмого поколения и закончить строительство линий восьмого поколения в 2008 г.

[digitimes.com](http://digitimes.com)