

Источник питания электрофильтра

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
на 6 листах

НИИАТМ-012. АТМ-03.2.001 ПЗ

ВВЕДЕНИЕ

Разрабатываемый высоковольтный источник постоянного напряжения предназначен для питания электрофильтра в составе технологической установки по очистке газов.

Источник обеспечивает плавное регулирование и стабилизацию напряжения на коронирующем электроде, а также контроль разрядного тока. Он имеет защиту от перегрузки по току с возможностью регулирования максимального тока. При пробое с последующим снижением электропроводности газового промежутка обеспечивается автоматическое восстановление рабочего режима.

Особенностями источника являются малые габариты, экономичность и простота встраивания его в автоматизированную систему управления технологическим процессом.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В соответствии с техническим заданием для источника питания электрофильтра (далее ИПЭФ) определены следующие основные параметры:

- диапазон регулирования и стабилизации выходного напряжения – 5...30 кВ отрицательной полярности;
- максимальная выходная мощность при напряжении более 7,5 кВ – не менее 150 Вт;
- максимальный ток нагрузки при напряжении менее 7,5 кВ – не менее 20 мА;
- нестабильность выходного напряжения при изменении нагрузки от холостого хода до максимальной – не более 5%;
- амплитуда пульсаций выходного напряжения в рабочем диапазоне в режиме стабилизации – не более 10%.

Выходные параметры ИПЭФ гарантируются при его питании от сети переменного напряжения 50 Гц, 220 В $\pm 10\%$. Потребляемая мощность – не более 250 ВА.

В варианте встроенного в автоматизированную систему управления источника сигналы задания выходного напряжения и максимального тока нагрузки, а также сигналы контроля выходного напряжения и тока – аналоговые 0...+5 В.

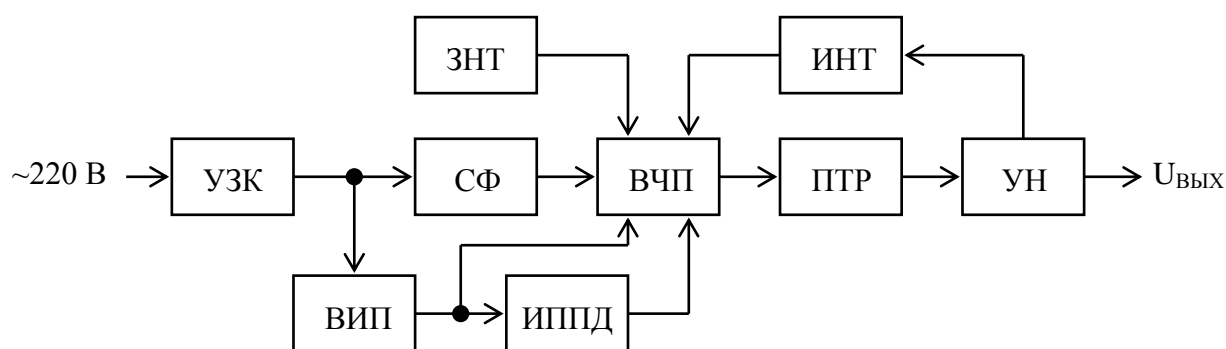
ИПЭФ сохраняет работоспособность и заданные технические характеристики в следующих условиях:

- температура окружающей среды – от +10°C до +35°C;
- относительная влажность воздуха – не более 80%;
атмосферное давление – от 84 кПа до 107,6 кПа (от 630 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.).

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Функциональная схема ИПЭФ (см. рисунок ниже) состоит из следующих элементов:

- узла защиты и коммутации **УЗК**;
- сетевого фильтра подавления помех **СФ**;
- вторичного источника электропитания **ВИП**;
- высокочастотного преобразователя **ВЧП**;
- изолирующего преобразователя питания драйверов силовых ключей **ИППД**;
- повышающего трансформатора **ПТР**;
- умножителя напряжения **УН**;
- задатчика выходного напряжения и максимального тока **ЗНТ**;
- индикатора выходного напряжения и тока **ИНТ**.



Преобразование переменного сетевого напряжения в высоковольтное постоянное выполняют ВЧП, ПТР и УН. ВЧП состоит из выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром и инвертора, формирующего на первичной обмотке ПТР регулируемое переменное напряжение повышенной частоты (около 50 кГц). При этом максимальная амплитуда напряжения вторичной обмотки ПТР составляет примерно 5 кВ. Далее это напряжение выпрямляется, фильтруется и повышается до заданного уровня с помощью шестикратного УН.

УН содержит встроенные датчики выходного напряжения и тока нагрузки. Датчик напряжения не только позволяет контролировать выходное напряжение, но и формирует сигнал обратной связи для его стабилизации в рабочем режиме ИПЭФ. Датчик тока служит для контроля выходного тока, а также обеспечивает работу узла ограничения максимального тока в соответствии с заданием.

ВЧП является источником значительных электромагнитных помех. Сетевой помехоподавляющий фильтр СФ препятствует их распространению через питающую сеть. УЗК содержит выключатель сетевого питания и плавкий предохранитель для защиты сети от коротких замыканий.

Для питания системы управления высокочастотного инвертора и элементов ЗНТ и ИНТ используется ВИП в виде АС-DC-преобразователя с выходным стабилизированным напряжением +12 В. Дополнительный маломощный мно-

гоканальный ИППД служит для питания драйверов силовых ключей инвертора, содержащих оптоэлектронную гальваническую развязку.

Конструктивно опытный образец ИПЭФ представляет собой моноблок с проектными размерами 250x250x100.

На его передней панели установлены выключатель и индикатор сетевого питания, потенциометры задатчика выходного напряжения и максимального тока нагрузки и стрелочные индикаторы выходного напряжения и тока. В варианте использования источника в автоматизированной системе управления технологическим процессом здесь же размещается разъем для организации каналов обмена сигналами.

На задней панели моноблока размещаются высоковольтный (потенциальный) вывод и клемма заземления. Потенциальный вывод относительно земли имеет отрицательную полярность.

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Принципиальная электрическая схема ИПЭФ (см. Приложение) представлена двумя документами с условными обозначениями **HV_MAIN** и **HVI_VM**. Схема HV_MAIN кроме базового модуля HVI_VM содержит выключатель сетевого питания SA1, плавкий предохранитель FU1, интегрированный сетевой фильтр подавления помех Z1 семейства DL-2D, стрелочные индикаторы (малогабаритные вольтметры 0...3 В серии M42301) выходного напряжения PV1 и выходного тока PV2 с добавочными резисторами R1 и R2. Базовый модуль, включающий все остальные элементы функциональной схемы ИПЭФ, присоединяется к питающей сети с помощью клемм XT1 и XT2, а к элементам индикации – с помощью разъема XS1/XP1.

На схеме базового модуля HVI_VM силовая часть ВЧП представлена мостовым выпрямителем U1, конденсаторами сглаживающего фильтра C13, C14 и силовыми ключами инвертора VT1 – VT4. В качестве силовых ключей применены «сверхбыстрые» IGB-транзисторы с встроенными обратными диодами фирмы STMicroelectronics, что позволяет осуществить преобразование напряжения на повышенной до 50 кГц частоте и уменьшить габариты ПТР и УН. Кроме того, благодаря низким коммутационным потерям IGB-транзисторов при работе на индуктивную нагрузку обеспечивается высокий КПД инвертора. Терморезистор RT1 с отрицательным ТКС служит для ограничения зарядного тока конденсаторов сглаживающего фильтра.

Цепь нагрузки инвертора содержит фильтр L1-C20, повышающий трансформатор TV1, трансформатор тока TA1 и разделительный конденсатор C19. Особенностью инвертора является квазирезонансный режим работы, который реализуется необходимым соотношением параметров фильтра и повышающего трансформатора и применением специализированного фазосдвигающего контроллера UC3875 фирмы Unitrode (DA1) в качестве устройства управления.

Разделительный конденсатор C19 достаточной емкости предотвращает одностороннее намагничивание и насыщение магнитопровода трансформатора TV1. Трансформатор тока TA1, выпрямитель VD1, VD2 с нагрузочным рези-

стором R18 и фильтр R17-C9 формируют сигнал контроля эффективного значения тока нагрузки инвертора. Этот сигнал обрабатывается компаратором ограничения тока в составе микросхемы DA1, что при условии незначительных отклонений напряжения питающей сети от номинального значения обеспечивает ограничение максимальной выходной мощности независимо от задания на ограничение выходного тока ИПЭФ.

Контроллер DA1 формирует импульсные сигналы управления силовыми ключами инвертора *OUTA*, *OUTB*, *OUTC*, *OUTD*, привязанные к общему выводу, поэтому необходима гальваническая развязка при передаче их к цепям затвор-эмиттер транзисторов VT1 – VT4. Эта задача решена с помощью микросхем DA2 – DA5 быстродействующих оптоэлектронных драйверов типа HСPL-3180 фирмы Avago Technologies. Выходные каскады драйверов получают питание от ИППД и имеют встроенную защиту от снижения напряжения питания, опасного возможным переходом в активный режим и отказом силовых ключей.

Особенностью схемы передачи управляющих сигналов является встречно-параллельное включение излучающих диодов драйверов DA2 и DA4, а также драйверов DA3 и DA5. Это практически исключает возможность «сквозных» токов в силовых ключах даже при сбое в работе контроллера DA1. Сопротивления резисторов R8 – R11 задают прямой ток излучающих диодов, величина которого влияет на скорость включения транзисторов и динамические потери.

УН реализован на диодах VD12 – VD17 и на конденсаторах C22 – C27 по несимметричной схеме. С учетом повышенной частоты (50 кГц) входного напряжения применены «ультрабыстрые» высоковольтные диоды типа 2CL2FL фирмы Eдi с допустимым обратным напряжением 15 кВ и керамические конденсаторы фирмы Murata с рабочими напряжениями 6,3 кВ (C22) и 15 кВ (C23 – C27).

Конструктивно УН выполнен в виде субмодуля с встроенными элементами контроля выходного напряжения и тока. При отрицательной полярности выходного напряжения сигнал обратной связи *UFB* формируется инвертирующим усилителем DA6.3 с коэффициентом передачи $-R_{26}/(R_{20}+R_{21}+R_{22}+R_{23})$. С этой целью применены высоковольтные резисторы типа С2-33НВ-1 с рабочим напряжением до 10 кВ (R20 – R23). Для выдачи контрольного сигнала *UOUT* применен буфер в виде повторителя напряжения на операционном усилителе DA6.4.

Контроль выходного тока осуществляется с помощью шунта в виде параллельно соединенных резисторов R24, R25 и масштабирующего усилителя DA6.2 с коэффициентом передачи $1+R_{34}/R_{35}$, формирующего контрольный сигнал *IOUT*.

С помощью компаратора DA6.1 сигнал *IOUT* сравнивается с сигналом задания максимального выходного тока и в случае превышения его через цепочку R28, VD3 реализуется воздействие на компаратор ограничения тока в составе контроллера DA1. Предусмотрены два варианта задания максимального выходного тока. При ручном управлении используется резистивный задатчик R31-RP2-R32 с питанием его от источника опорного напряжения *REF*, встроенного

в микросхему контроллера DA1. В этом случае переключатель J2 должен соединять контакты 1,2. При соединении переключателем J2 контактов 2,3 используется внешний сигнал *IMZ* задания максимального выходного тока с включением дополнительного делителя напряжения R29, R30.

Задание выходного напряжения также возможно двумя способами. При ручном управлении используется потенциометр RP1 с соединением переключателем J1 контактов 1,2. При управлении внешним сигналом *UZ* переключатель J1 должен соединять контакты 2,3. В обоих случаях задающий сигнал через фильтр R5-C6 подается на неинвертирующий вход *EAP* усилителя ошибки в составе контроллера DA1. На инвертирующий вход *EAN* поступает сигнал обратной связи *UFB*. Таким образом, усилитель ошибки выполняет функцию регулятора в контуре стабилизации выходного напряжения, передаточная функция которого определяется параметрами элементов R3, R4, C4, C5.

Частота инвертирования 50 кГц задается параметрами элементов R12 и C12. Резисторы R6, R7 и конденсаторы C7, C8 устанавливают так называемое «мертвое время» для предотвращения протекания через последовательно соединенные силовые ключи «сквозных» токов.

ИППД выполнен по упрощенной схеме однотактного обратного преобразователя с использованием ШИМ-контроллера DA7 типа UC3845 и МДП-транзистора VT5 типа IRF510. В этой схеме коэффициент заполнения управляющих импульсов на выводе *OUT* постоянен и составляет 50%. Частота преобразования 100 кГц задается параметрами элементов R36, C35. Трансформатор TV2 обеспечивает формирование трех изолированных источников напряжений *15V-1*, *15V-2* и *15V-0* для питания выходных каскадов драйверов силовых ключей инвертора. Все они имеют параметрическую стабилизацию напряжения с помощью стабилитронов VD9 – VD11.

Питание контроллера DA1, ИППД и операционных усилителей в составе микросхемы DA6 типа LM324 осуществляется постоянным стабилизированным напряжением +12 В. Для этого применен модульный AC-DC преобразователь UZ1 типа NFM-10-12 фирмы Mean Well.