

ЭКОНОМИЧНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРА ВВЭР

Датчики положения по отношению к источнику питания являются активно-индуктивной нагрузкой, требующей питания переменным током 200 ± 20 мА при частоте 250 Гц. Нагрузка зависит от температуры датчиков. При температуре 325°C $R = 320$ Ом , $L = 50$ мГн, а при температуре 20°C $R = 80$ Ом , $L = 30$ мГн. При изменении нагрузки в указанных диапазонах ток должен поддерживаться в заданных пределах.

Принцип измерения положения предполагает измерение напряжения на каждой из девяти секций активно-индуктивной нагрузки в момент прохождения тока через ноль, что при указанных соотношениях между активной и индуктивной составляющими нагрузки соответствует измерению на линейном участке синусоиды, которая при этом должна содержать минимальное количество гармоник. Оптимальным решением с точки зрения потерь в источнике и, следовательно, его габаритов является реализация на базе современных преобразователей частоты. Такое решение можно реализовать только при работе на высоких частотах с фильтрацией выходного сигнала тока для получения достаточно гладкого сигнала измеряемого напряжения. Все эти факторы учитывались при разработке источника.

Структурная схема источника представлена на рис.1. В качестве силового преобразователя использована интегральная микросхема A3959SB фирмы “Allegro MicroSystems”, представляющая собой драйвер для привода постоянного тока с четырьмя ключами на DMOS-транзисторах, работающих в режиме широтно-импульсной модуляции, имеющая внутренний контур регулирования тока, датчик частоты коммутации, защиты от перегрева, превышения напряжения питания, от сквозных токов между противоположными ключами. Микросхема при напряжении питания 50 В и токе 3 А требует для отвода тепла через выводы по одному квадратному

дьюму металлизированной поверхности с одной и с другой стороны печатной платы, но при токе не более 1,5 А требований к охлаждению нет.

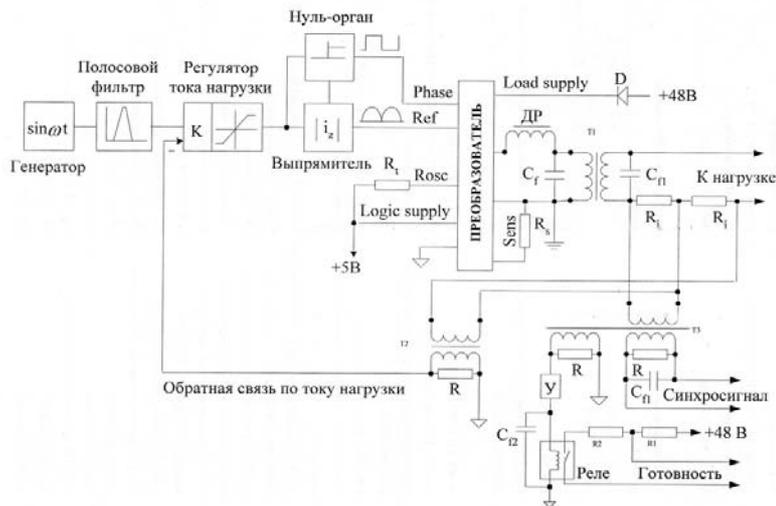


Рис. 1. Структурная схема источника питания

При разработке был выбран режим работы микросхемы, при котором для быстрого снижения тока до нуля после отключения транзисторов для выбранного направления тока включаются транзисторы противоположного направления (в паузе). Для управления микросхемой на вход Ref подается однополярный сигнал задания тока, уровень которого определяется требуемым током и низкоомным сопротивлением R_s (Sens), с которого снимается внутренняя обратная связь по току, а для изменения направления тока подаются логические сигналы 0 или 1 на вход Phase. Частота широтно-импульсной модуляции выбрана равной 40 кГц и определяется величиной сопротивления R_l (Rosc). Первичное постоянное напряжение питания микросхемы 48 В используется и для питания вторичных источников, питающих логику и операционные усилители.

Генератор синусоидального сигнала выполнен на операционных усилителях, реализующих неустойчивое звено второго порядка при нарастании и спаде сигнала и реализующих устойчивое звено

второго порядка с хорошим демпфированием переходного процесса в зоне максимальной амплитуды, что является условием для спада сигнала.

Функциональная схема генератора синусоидального сигнала представлена на рис.2.

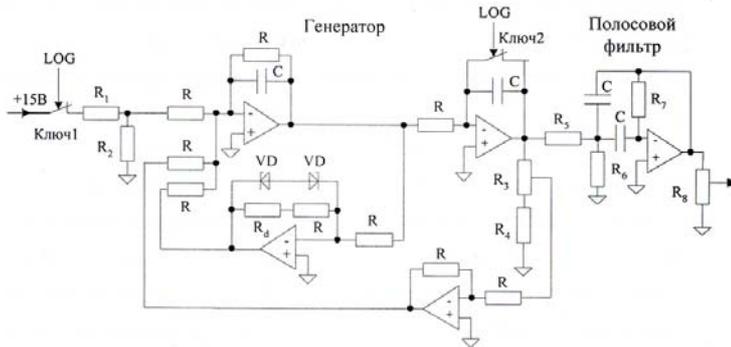


Рис. 2. Функциональная схема генератора частоты и полосового фильтра

Передаточная функция генератора частоты до момента ограничения напряжения стабилизаторами

$$W(p) = \frac{K/T^2}{K(p^2 - pR_d/(RT) + K/T^2)} = \frac{\omega_0^2}{K(p^2 - 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2)}, \quad (1)$$

где $T = RC$, $K < 1$ – коэффициент передачи, определяемый сопротивлениями $R3, R4$; $\omega_0 = 2\pi f$; ξ – собственная частота и коэффициент демпфирования неустойчивого звена второго порядка.

Подстройка частоты в небольших пределах осуществляется сопротивлением $R3$. При $R_d = 0$ (консервативное звено) колебания прекращаются. Значения R, C, K находятся из уравнения $\omega_0 = (\sqrt{K})/T$, полученного из (1).

Сопротивление R_d выбирается таким образом, чтобы коэффициент демпфирования $\xi = R_d / (2R\sqrt{K})$ был достаточно мал и в то же время надежно обеспечивал расходящиеся колебания. При увеличении ξ растет число гармонических составляющих на выходе генератора. При разработке выбрано значение $\xi = 0,0085$.

Передаточная функция генератора частоты после момента ограничения напряжения стабилитронами равна

$$W(p) = \frac{K/T^2}{K(p^2 + (1/T)p + K/T^2)} = \frac{\omega_0^2}{K(p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2)}. \quad (2)$$

В уравнении (2) $\xi = 1 / (2\sqrt{K})$. Так как коэффициент K несколько меньше единицы, то значение ξ несколько больше 0,5. Таким образом, после ограничения устойчивое звено второго порядка имеет хорошее демпфирование. При включении питания при $R_d + R \approx R$ можно считать, что напряжение на первом операционном усилителе нарастает с темпом, который определяется сопротивлениями $R1$, $R2$. Эти сопротивления рассчитываются так, чтобы к моменту нарастания питающего напряжения до необходимого для работы уровня и соответственно размыкания бесконтактных ключей 1, 2 напряжение на усилителе было равно 5 В, т. е. было равно напряжению ограничения стабилитронов. При этом синусоидальное напряжение после размыкания ключей сразу же появляется на выходе генератора без длительной раскачки.

Напряжения ограничения на стабилитронах из-за разброса характеристик могут несколько отличаться для двух полярностей сигнала, поэтому возможно появление постоянной составляющей на выходе генератора. В связи с этим реализован полосовой фильтр на частоту 250 Гц. Функциональная схема полосового фильтра представлена на рис.2. Так как нежелательные частоты на выходе генератора лежат достаточно далеко от заданной частоты, то фильтр выполнен с невысокой добротностью ($Q = 1/2\xi$), чтобы исключить изменение амплитуды на выходе при изменении его параметров из-за температуры. Передаточная функция полосового фильтра, выполненная на одном операционном усилителе с многопетлевой обратной связью, равна:

$$W(p) = -\frac{[1/(R5C)]p}{p^2 + [2/(R7C)]p + (R5 + R6)/(R5R6R7C^2)} = \frac{2\xi\omega_0 p}{p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2}. \quad (3)$$

Из выражения (3) находятся параметры фильтра $R5 = 1/(2\xi\omega_0 C)$, $R7 = 1/(\xi\omega_0 C)$, при $\xi < (\sqrt{2})/2$ $R6 = \xi/[1 - 2\xi^2]\omega_0 C$.

Коэффициент демпфирования фильтра принят равным $\xi = 0,4$. Сопротивлением R_8 на выходе фильтра можно менять задание на ток.

Внешний регулятор тока нагрузки необходим в связи с тем, что для получения гладкой синусоиды на выходе преобразователя установлен фильтр с использованием ненасыщающегося дросселя DP и емкости C_f . При этом внутренний контур регулирования тока контролирует сумму токов, а именно тока нагрузки на первичной стороне трансформатора $T1$ и тока, протекающего через емкость C_f . Так как суммарный ток отличается не столь значительно от тока нагрузки на первичной стороне, выбран пропорциональный регулятор, обратная связь которого снимается с малоомного сопротивления R_i в цепи нагрузки через развязывающий потенциалы трансформатор $T2$.

В связи с тем что на вход Ref должен подаваться однополярный сигнал, на выходе регулятора тока имеется выпрямитель. Смена полярности тока нагрузки достигается подачей на вход Phase логического сигнала от нуля-органа, вход которого подключен к выходу регулятора тока нагрузки. Так как преобразование сигнала с выхода регулятора в однополярный сигнал должно выполняться с высокой точностью, выпрямитель реализуется на операционных усилителях по схеме, представленной на рис.3.

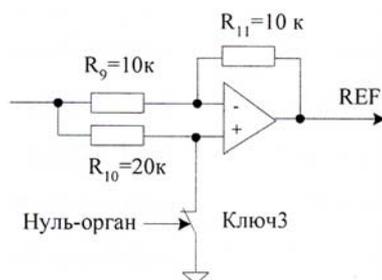
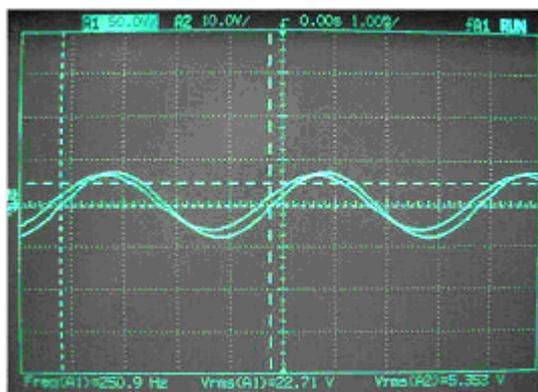
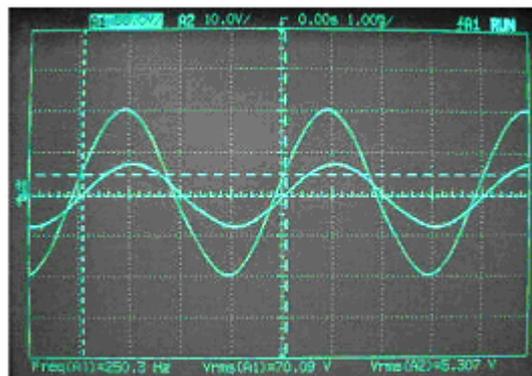


Рис. 3. Функциональная схема выпрямителя

Трансформатор $T1$ разработан специально для рассматриваемого источника заводом “Эллипс”. Тороидальный трансформатор $TTP-15$ в герметичном корпусе имеет габаритный размер $52 \times 50 \times 24$ мм и предполагает установку выводов в печатную плату. Напряжение повышается с коэффициентом трансформации $K_T = 4$, и, таким образом, первичный ток не превышает значения $0,2 \cdot 4 = 0,8$ А.



a



б

Рис.4. Осциллограммы напряжения и тока нагрузки: *a* – $R=800$ м, $L = 30$ мГн; *б* – $R = 320$ Ом, $L = 50$ мГн

С малоомного сопротивления R_i в цепи нагрузки через развязывающий потенциалы трансформатор $T3$ выдаются сигналы готовности источника к работе и синхросигнал тока для системы измерения перемещения.

В источнике реализованы защиты от закорачивания и от разрыва цепи нагрузки. При нормальной работе на лицевой панели загорается светодиод зеленого цвета, а при аварии – красного. После аварии источник включается при нажатии кнопки “Сброс”.

На рис.4 представлены осциллограммы напряжения и тока при нагрузке 320 Ом, 50 мГн и при нагрузке 80 Ом, 30 мГн. Напряжение снято непосредственно с нагрузки, а ток с выхода трансформатора ТЗ (синхросигнал). Напряжение на выходе трансформатора 5,353 В при минимальной нагрузке соответствует току 200 мА. При изменении нагрузки от минимальной до максимальной изменение тока не превышает 2 мА.

Источник разработан для установки в евроконструктив 3U и имеет ширину лицевой панели 35,2 мм.

Макетный образец источника питания с подключенным датчиком положения прошел стендовые испытания в составе шкафа контроля и управления испытательного стенда ФГУП «Гидропресс». Кроме того, он прошел предварительные испытания по утвержденной программе и методике на механические и климатические внешние воздействующие факторы. Все испытания прошли успешно. Источник обеспечил требуемую точность поддержания тока и частоты и надежную защиту в аварийных ситуациях.