

Тинаев Василий Владимирович,

инженер-конструктор,

АО «Государственный Рязанский приборный завод»;

Пименов Сергей Юрьевич,

инженер-конструктор,

АО «НИИП имени В.В. Тихомирова»,

г. Рязань

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЛС. ЗАЩИТА ПЕРЕДАТЧИКА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ ПО ТОКУ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Надёжность – свойство радиолокационной станции (РЛС) сохранять тактические параметры в заданных пределах и условиях эксплуатации в течение требуемого интервала времени. Обычно для упрощения надёжность определяют при отсутствии помех. Изменение состояния системы, которое сопровождается потерей указанного свойства (потерей работоспособности), называют отказом. Часто используемыми показателями надёжности являются вероятность безотказной работы, т.е. вероятность того, что в пределах заданного времени отказ системы не возникнет, и так называемое среднее время наработки на отказ [2].

Еще одним важным аспектом является соблюдение паспортных режимов элементов, входящих в узлы и блоки станции. Особенно это важно для дорогостоящих элементов, ремонт которых приводит к значительным финансовым и производственным затратам.

В данной статье рассматривается вопрос повышения надёжности РЛС путем введения в передатчик дополнительных схем защиты.

Одной из характеристик РЛС является дальность действия, зависящая от множества параметров. Дальность определяется формулой:

$$R_{\max} = 4 \sqrt{\frac{P_1 \cdot G_a^2 \cdot \eta^2 \cdot \lambda^2 \cdot S_0}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{пор}}}} \quad (1)$$

где P_1 – мощность передатчика, G_a – коэффициент усиления передающей антенны, η – коэффициент полезного действия передатчика, λ – длина волны зондирующего сигнала, S_0 – эффективная площадь рассеяния цели, $P_{\text{пор}}$ – пороговая мощность приёмника [2].

За величину выходной мощности изделия отвечает передатчик. Также к нему предъявляются требования по полосе частот, амплитудным и фазовым шумам, параметрам выходных модулированных импульсов и т.д. Для выполнения всех требований в большинстве современных передатчиков в качестве усиливающего элемента используются лампы бегущей волны (ЛБВ).

Принцип работы ЛБВ основан на длительном взаимодействии бегущей электромагнитной волны с электронным потоком. ЛБВ имеет в своем составе замедляющую систему (ЗС), представляющую собой линию передачи СВЧ, в которой граничные условия для электромагнитных колебаний путем введения металлических неоднородностей периодически меняются в направлении распространения электромагнитной волны. В замедляющей системе

наблюдается такая связь между полем волны и электронным потоком, при которой электронный поток отдает полю часть своей энергии, за счет чего и происходит усиление [3].

Схематично ЛБВ представлена на рисунке 1.

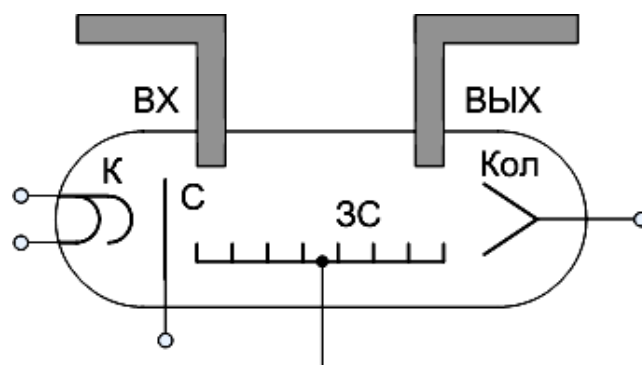


Рисунок 1 – Электрическая схема ЛБВ

ВХ – волноводный вход, ВЫХ – волноводный выход, К – катод, С – сетка, ЗС – замедляющая система, Кол – коллектор

Современные передатчики построены на цепочке связанных ЛБВ (рисунок 2). Лампы расположены последовательно. Входной импульсный сигнал задающего генератора поступает на первую лампу, усиливается, затем поступает на вход второй лампы, с выхода которой попадает в антенную антенну. Первая лампа имеет большой коэффициент усиления (до 50000-60000 раз по мощности), и увеличивает входной импульсный сигнал с десятков мВт до 2-3 кВт. Коэффициент усиления второй лампы составляет 4-6 раз, в результате чего выходная импульсная мощность передатчика с учетом потерь в волноводах достигает 15-16 кВт при скважности более 4.

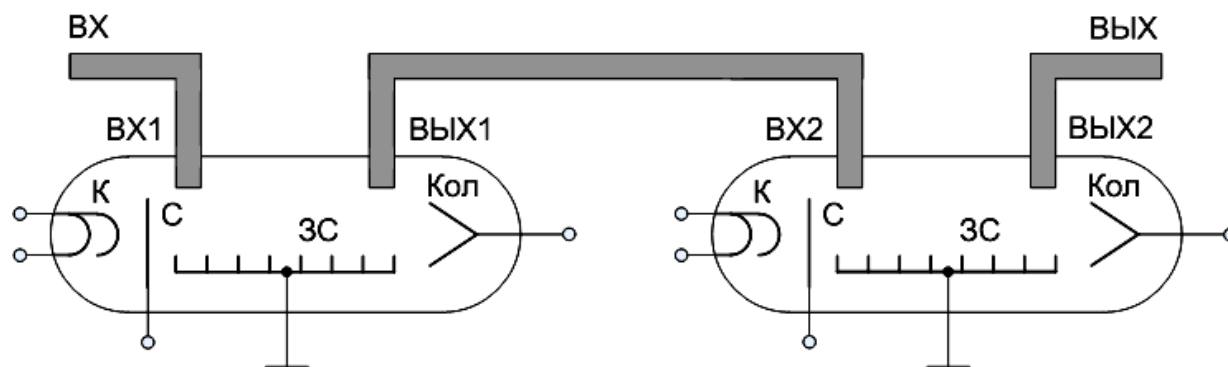


Рисунок 2 – Цепочка связанных ЛБВ

ВХ – волноводный вход цепочки, ВЫХ – волноводный выход цепочки, ВХ1 и ВЫХ1 – волноводные вход и выход ЛБВ1, ВХ2 и ВЫХ2 – волноводные вход и выход ЛБВ2.

Комплект ЛБВ является самым дорогим элементом в передатчике, поэтому значительное внимание уделяется цепям защиты, контролирующим поданные напряжения питания и токи, протекающие через лампы.

Источником токов в ЛБВ является катод. В результате нагрева вокруг катода создается электронное облако, при подаче напряжения превышения на управляющую сетку лампы электронный поток движется от отрицательного потенциала катода (порядка 16 кВ) к коллектору, имеющему более высокий потенциал (около 9 кВ). В идеальном случае весь поток электронов катода

попадает на коллектор. В реальности же при прохождении потока через замедляющую систему лампы часть электронов оседает на ней, создавая так называемый ток замедляющей системы $I_{зс}$.

Обозначив ток катода как I_k , а ток коллектора как $I_{кол}$, получаем:

$$I_k = I_{кол} + I_{зс} \quad (2)$$

Наличие тока ЗС ведет к нагреву замедляющей системы, что может вывести лампу из строя. Поэтому контроль $I_{зс}$ является первоочередной задачей при проектировании устройств защиты передатчика.

На рисунке 3 представлена структурная схема передатчика на цепочке связанных ЛБВ.

Так как конструктивно ЗС соединена с корпусом ЛБВ, а тот в свою очередь с корпусом передатчика и, следовательно, всей РЛС, то возможность прямого измерения тока ЗС отсутствует.

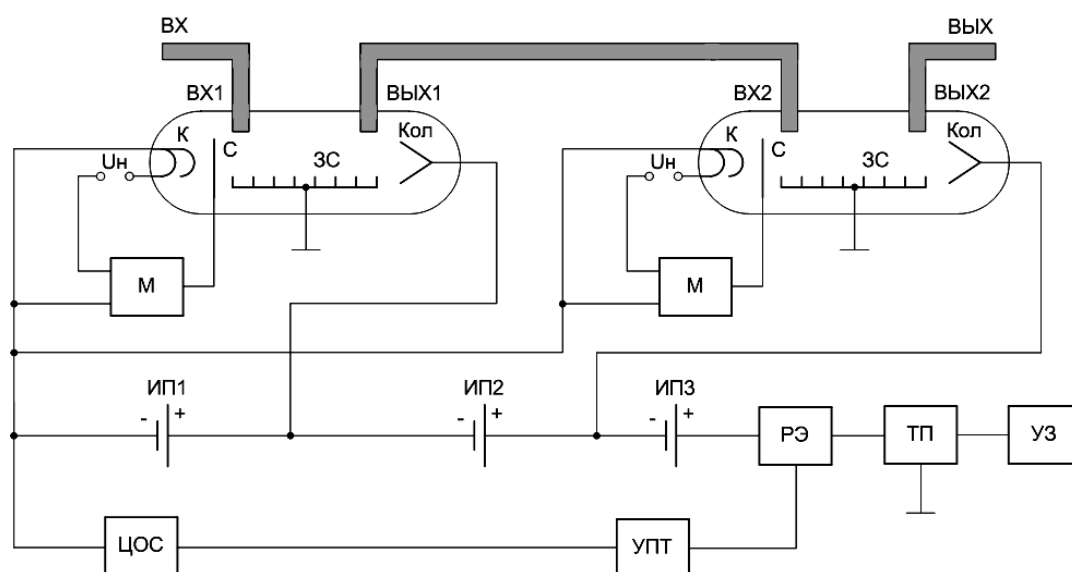


Рисунок 3 – Структурная схема передатчика на цепочке связанных ЛБВ

М – модулятор, U_n – напряжение накала, ИП1-ИП3 – источники постоянного напряжения, ЦОС – цепь обратной связи, УПТ – усилитель постоянного тока, РЭ – регулирующий элемент, ТП – токовый прибор, УЗ – устройство защиты.

Для обеспечения заданных режимов работы ЛБВ необходимо обеспечить постоянные положительные напряжения питания: стабилизированное для ЗС и нестабилизированное для коллектора. Напряжения считают относительно катода.

Нестабилизированные источники питания ИП формируются одним общим многообмоточным высоковольтным трансформатором, каскадами выпрямителей и фильтров. Для стабилизации напряжений ЗС используется регулирующий элемент (например, тетрод), управляемый через ЦОС усилителем постоянного тока.

Как видно из рисунка, ток источников питания ИП, равный току катода, делится на токи коллекторов и ток регулирующего элемента. Следовательно, используя формулу 2, делаем вывод, что ток регулирующего элемента равен сумме токов ЗС первой и второй ЛБВ. Последовательно с РЭ подключается токовый прибор (например, реле или компаратор с калиброванным резистором),

сигнал с которого поступает на УЗ, отключающее питание передатчика.

Зная предельно допустимые токи ЗС комплекта ЛБВ, можно настроить порог срабатывания УЗ на требуемую величину. Недостаток данной схемы состоит в том, что оценивается ток комплекта ЛБВ, а не конкретной лампы. В таком случае может возникнуть ситуация, при которой ток одной из ЛБВ может превышать допустимое значение, в то время как ток комплекта остается в норме. В первую очередь это относится к первой ЛБВ, так как её замедляющая система более чувствительна к перегреву.

Рассмотрим варианты решения данной проблемы.

Первый вариант заключается в разделении источников питания первой и второй ЛБВ. Такая схема показана на рисунке 4.

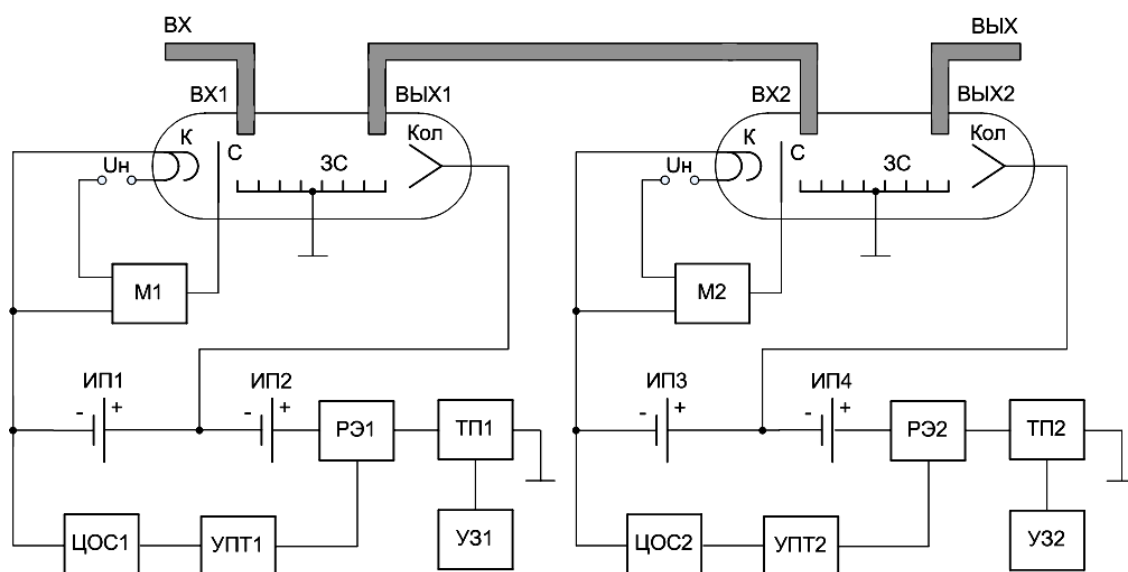


Рисунок 4 – Структурная схема передатчика с разделёнными источниками

При такой схеме через РЭ1 и РЭ2 будут протекать токи первой и второй ЛБВ соответственно, и их можно контролировать с помощью ТП1 и ТП2. Данное решение полностью обеспечивает контроль токов каждой ЛБВ, что исключает возникновение указанной неблагоприятной ситуации. Однако построение такой схемы приводит к ряду сложностей. Возрастает количество узлов в передатчике — необходимо обеспечить РЭ, ЦОС, УПТ и ТП обе ЛБВ. Кроме того, в связи с тем, что катоды ЛБВ теперь гальванически развязаны, следует использовать отдельные модуляторы на каждую лампу, а в схеме с единым источником их можно разместить в одном корпусе под общим электрическим потенциалом. По этой же причине придется разделить высоковольтный трансформатор. Все это приведет к усложнению конструкции передатчика, увеличению его массогабаритных показателей.

Можно использовать другой вариант построения передатчика. Преобразовав формулу 2, получаем:

$$I_{ЗС} = I_{К} - I_{Кол} \quad (3)$$

Следовательно для вычисления тока ЗС надо из тока катода вычесть ток коллектора. Чтобы вычислить эти токи, необходимо последовательно с электродами конкретной ЛБВ подключить токовые приборы. Но токи катода и

коллектора ЛБВ достигают 2А в импульсе, поэтому подключённый в такую цепь радиоэлемент будет потреблять значительную мощность. В таком случае целесообразно использование датчиков на эффекте Холла. Применение датчиков не требует обеспечения гальванической связи и позволяет измерять токи значительной величины [1]. Схема с использованием датчиков для вычисления тока ЗС первой лампы показана на рисунке 5.

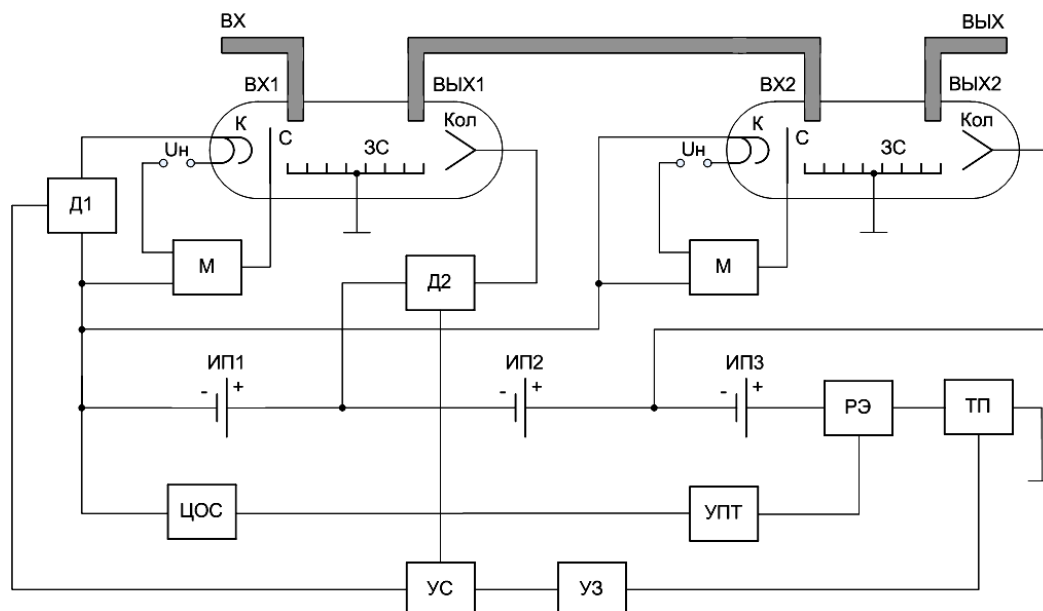


Рисунок 5 – Схема передатчика с использованием датчиков Холла
Д1, Д2 – датчики на эффекте Холла, УС – устройство сравнения.

Первый датчик Д1 подключен в цепи катода и формирует сигнал, пропорциональный току катода, второй датчик Д2 — сигнал, пропорциональный току коллектора. Затем сигналы с датчиков поступают на устройство сравнения УС, которое вычитает из сигнала датчика Д1 сигнал датчика Д2, получая напряжение, пропорциональное току ЗС первой лампы [1]. После этого напряжение сравнивается с пороговым значением, и результат сравнения подается на устройство защиты, отключающее источник питания при необходимости.

Значительных конструктивных изменений для такой схемы не требуется. Необходимо введение УС и размещение датчиков. Таким образом, схема с использованием датчиков на эффекте Холла является эффективным решением для контроля тока отдельной лампы из комплекта ЛБВ.

В статье рассмотрены способы повышения надежности передатчика, построенного на цепочке ЛБВ, в рамках контроля токов замедляющих систем ЛБВ. Показаны две структурные схемы передатчиков, позволяющих измерять ток первой ЛБВ комплекта, приведен их сравнительный анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Передатчик СВЧ с повышенной степенью защиты: пат. 2480906 Рос. Федерация: МПК Н04В 1/00 (2006.01) / М.И. Суворинов и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «ГРПЗ». – №2011138771/07; заявл. 21.09.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12 – 2 с.: ил.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: учебник для вузов. – М: Радиотехника, 2004.
3. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ. – М: Высшая школа, 1984.