

УДК 621.385.833

ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ЦИРКУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

К. С. Ермолин, Ю. К. Шелковников, Н. И. Осипов

Институт механики УрО РАН,
г. Ижевск

В статье рассмотрены вопросы повышения выходной мощности циркулятора с помощью комплементарных транзисторов. Приведены соотношения для расчета радиоэлементов циркулятора при согласовании его портов с различной нагрузкой. Показано, что согласованная индивидуальная нагрузка портов не влияет на работу циркулятора в целом.

Ключевые слова: циркулятор, операционный усилитель, порт, нагрузка, выходная мощность.

Одним из основных блоков акустического микроскопа, определяющих его структуру, является быстродействующий коммутатор высокочастотных сигналов к акустической линзе, а от нее – к приемнику эхо-сигнала [1-3]. Применение циркулятора на основе операционных усилителей (ОУ) в качестве коммутатора позволяет упростить структуру микроскопа, повысить качество обработки акустических сигналов. Циркулятор представляет собой многополюсную схему из трех, соединенных последовательно, и замкнутых в кольцо идентичных звеньев на ОУ с тремя парами зажимов – портов. Порты являются двунаправленными, то есть могут работать как в качестве входа, так и в качестве выхода. Сигнал, поданный в первый порт, передается только во второй – следующий, порт, и подается в третьем порту. Аналогично производится передача сигналов от второго порта к третьему, от третьего – к первому. Применение ОУ в циркуляторе накладывает ограничение на нагрузочную способность портов, так как выходная мощность высокочастотных операционных усилителей не превышает нескольких сотен милливатт [4]. Для исследования нагрузочной способности портов циркулятора использована схема на ОУ [5]. Универсальность данной схемы в том, что

она может быть настроена на различную нагрузку на выходе. Однако, из [5] не следует, что каждый порт циркулятора может быть настроен на согласование со своей нагрузкой. Поэтому актуальным является исследование возможности повышения выходной мощности циркулятора при его работе с согласованной индивидуальной нагрузкой.

Рассмотрим напряжение на выходе ОУ каждого звена циркулятора с идентичными параметрами звеньев. Согласно [2] оно определяется выражением (1).

Необходимые соотношения сопротивлений резисторов одного звена циркулятора определяются как [2, 3]:

$$\begin{aligned} R_2 &= R_4 = R_5; \quad R_3 = R_6; \\ \frac{(R_2 + R_5)}{2} &= R_1; \\ \frac{R_5}{R_6} &= 3,236; \\ \frac{R_3}{R_3 + R_4} &= 0,764. \end{aligned} \quad (2)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}, N-1} \cdot R_4}{R_4 + R_3} \left(1 + \frac{R_6}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_5} \right) - U_{\text{ВЫХ}, N-1} \cdot \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{\frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5}}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5}} - U_{\text{ПОРТН}} \cdot \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{\frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}}. \quad (1)$$

ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ЦИРКУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

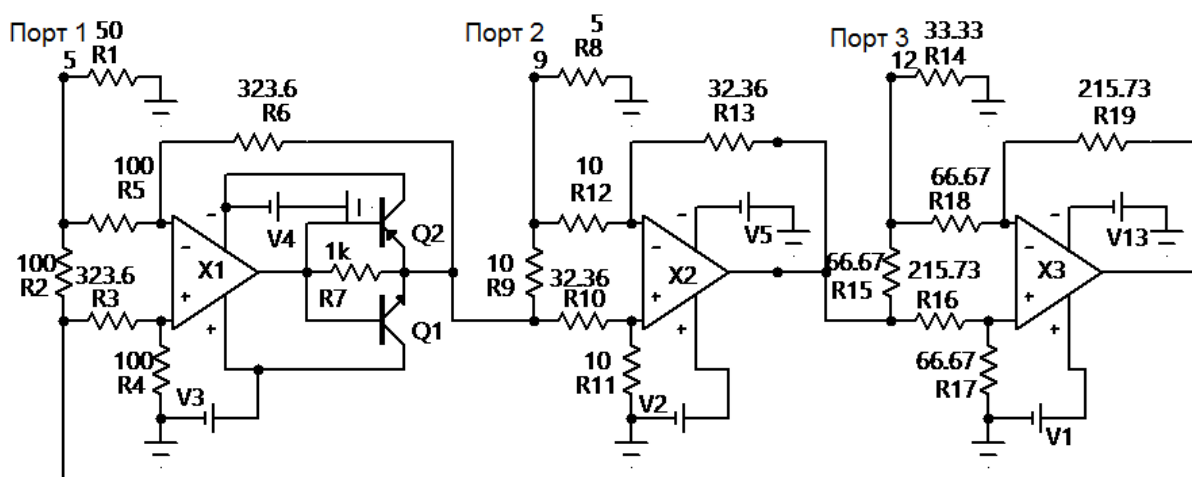


Рисунок 2 – Схема циркулятора с разной согласованной нагрузкой

Напряжение U_{BIX} формируется путём сложения сигналов с дифференциального усилителя, делителя напряжения и внешнего сигнала порта (рисунок 1.):

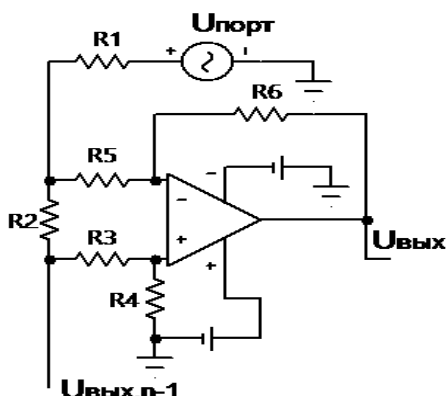


Рисунок 1 – Схема звена циркулятора

Изменим сопротивления нагрузки второго и третьего портов: для второго порта уменьшим нагрузку до 5 Ом, а для третьего порта уменьшим нагрузочный резистор в 1,5 раза. Пересчитаем элементы второго и третьего звеньев схемы под новые нагрузочные резисторы. Схема циркулятора с этими элементами представлена на рисунке 2, где три звена циркулятора построены на операционных усилителях X1, X2, X3. Чтобы получить сигнал на низкоомной нагрузке порта 2 (узел 9), введем в первое звено циркулятора усилитель мощности, собранный на комплементарной паре транзисторов Q1 и Q2 по схеме эмиттерного повторителя [1]. Моделирование работы циркулятора выполнялось в среде программы MicroCap.

Для проверки работоспособности предложенной схемы циркулятора подадим на его

первый порт пакет импульсов, и исследуем эпюры напряжений на втором и третьем портах. Проанализируем также выходной ток через сопротивление нагрузки (резистор R8) второго порта. В результате моделирования получены графики, показанные на рисунке 3.

Представленные эпюры напряжений и тока подтверждают, что в согласованной с выходным сопротивлением второго порта нагрузке возможно получить импульсы большой амплитуды и, соответственно, мощности, при одновременном сильном подавлении сигнала в третьем порту.

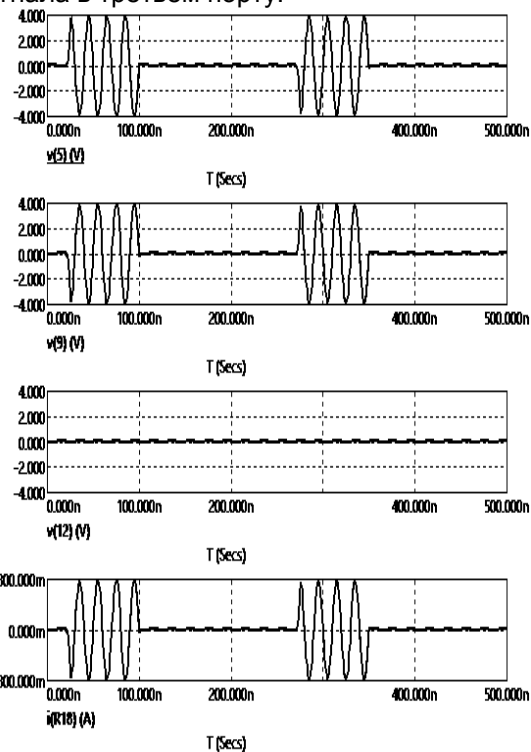


Рисунок 3 – Эпюры сигналов первого, второго, третьего портов и тока в нагрузке порта 2

Таким образом, анализ результатов моделирования показывает, что согласование параметров звеньев циркулятора с необходимым индивидуальным сопротивлением нагрузки не нарушает работоспособности циркулятора и сохраняет его высокие свойства (как коммутатора электрических сигналов) с возможностью их усиления в одном из направлений передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелковников Е.Ю., Осипов Н.И., Ермолин К.С. Повышение качества измерительной информации в сканирующем акустическом микроскопе // Материалы международной НТК «Измерения, контроль, информатизация». – Барнаул: АлтГТУ, 2014. – С.148-152.
2. Ермолин К.С., Шелковников Ю.К., Осипов Н.И. Построение коммутационного блока сканирующего акустического микроскопа // Материалы НТК «Приборостроение в XXI веке. Интеграция

науки, образования и производства». – Ижевск: ИжГТУ, 2014. – С. 173-177.

3. Шелковников Ю.К., Осипов Н.И., Ермолин К.С. Исследование влияния компонентов циркулятора на основе операционных усилителей на его работу // Материалы НТК международной НТК «Измерения, контроль, информатизация». – Барнаул: АлтГТУ, 2015. – С. 141-144.

4. Дмитриев Н., Феофилактов Н. «ОУ в усилителях мощности». // Радио, 1986. – № 8 – С.42-46.

5. Techlib.com [Интернет ресурс] техническая науч. библиот. – режим доступа к статье: <http://techlib.com/files/RFDdesign3.pdf>.

Ермолин Кирилл Сергеевич – м.н.с., тел.: 89508243999, e-mail: ermolin@udm.ru;
Шелковников Юрий Константинович – д.т.н., г.н.с., тел. 89097140096, e-mail: evshelk@mail.ru;
Осипов Н.И. – с.н.с., тел. 89226801578, e-mail: niosip@mail.ru.