

Серебряков Александр Игоревич

Email: prokopenko@sssu.ru

Тел: 88636 22-20-37

Prokopenko Nicolay Nicolaieich

State educational institution of the higher vocational training «South Russian State University of Economics and Service»

E-mail: prokopenko@sssu.ru

147, Shevchenko, Shakhti, 346500, Phone: 88636 22-20-37

Konev Danil Nicolaevich

E-mail: prokopenko@sssu.ru

Phone: 88636 22-20-37

Serebryakov Alexandr Igorevich

E-mail: prokopenko@sssu.ru

Phone: 88636 22-20-37

УДК 621.375

Н.Н. Прокопенко, Д.Н. Конев, А.И. Серебряков**ШИРОКОПОЛОСНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ ПЕРЕМНОЖИТЕЛЬ
НАПРЯЖЕНИЙ НА БАЗЕ ТОКОВЫХ ЗЕРКАЛ**

Рассматривается архитектура широкополосного ($0 \div 6$ ГГц) аналогового перемножителя потенциальных сигналов с малым ($1,5$ В) напряжением питания, являющаяся альтернативой широко распространенной ячейке Джильберта.

Перемножитель; квадратор; удвоитель частот; система на кристалле.

N.N. Prokopenko, D.N. Konev, A.I. Serebryakov**BROADBAND ANALOG MULTIPLIERS OF VOLTAGE BASED ON
CURRENT MIRRORS**

A multiplier architecture of the potential signal with a reduced voltage to a level less than $1.5V$ is shown. The proposed technical solution is an alternative to multiply Gilbert cell.

Cell; multiplier; architecture.

В цифровых интегральных микросхемах и их приложениях в области систем управления энергетическими комплексами результатом увеличения скорости обработки информации стали тенденции постоянного уменьшения напряжения питания. Однако это не приемлемо в аналоговом проектировании с высокими качественными параметрами. При технологических нормах 350 нм (напряжение питания $3,3$ В) по-прежнему достаточно схемотехнических возможностей для создания аналоговых микросхем (АМ), хотя наличие 5 В питания было бы предпочтительнее. При нормах 180 нм ($1,8$ В) процесс проектирования усложняется и некоторые характеристики АМ деградируют. При $90 \div 130$ нм необходимо развитие новых подходов к проектированию АМ, ориентированных на обеспечение работоспособности при низковольтном питании ($E_{п} = 1 \div 1,5$ В).

Классическая схема аналогового перемножителя напряжений (АПН) [1] обеспечивает возможность работы при $E_{\Pi} > 2,1 \div 2,3$ В. При более низких напряжениях питания, например, 1,5 В, данный АПН неработоспособен.

Рассматриваемый ниже АПН (рис.1) [2] является альтернативой широко распространенной перемножающей ячейки Джилберта.

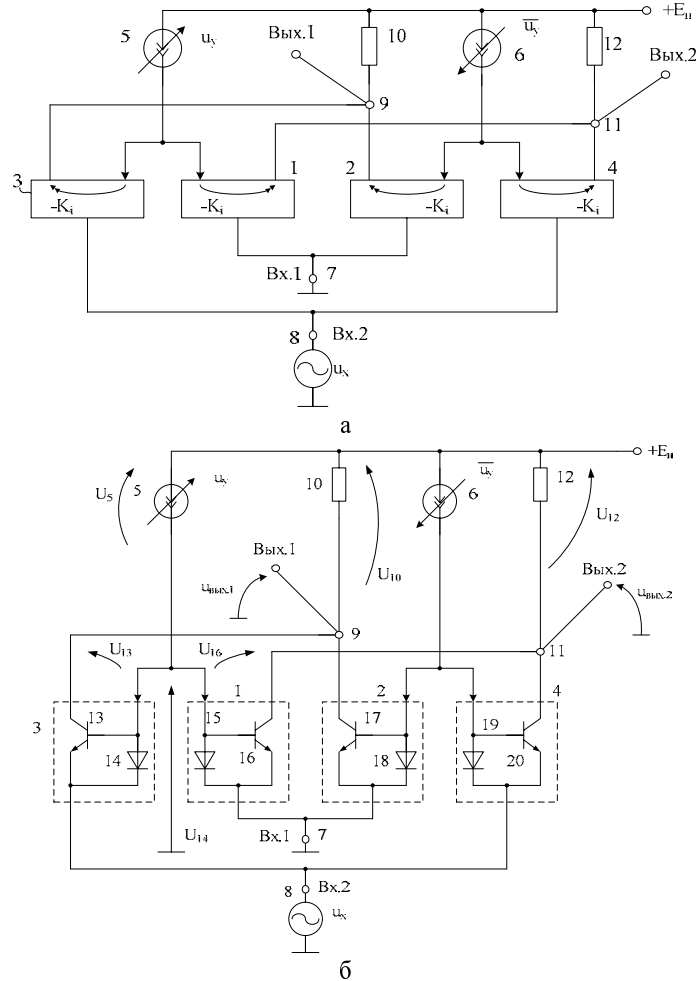


Рис.1. Архитектура АПН на основе 4-х токовых зеркал (а) и пример его построения (б)

Рассмотрим факторы, ограничивающие уровень напряжения питания в АПН рис. 1,б. Величина минимального напряжения источника однополярного питания E_{Π} зависит от статического падения напряжения на элементах схемы:

$$E_{\Pi} = U_{14} + U_{13} + U_{10} \quad (1)$$

$$E_{\Pi} = U_{14} + U_{16} + U_{12} \quad (2)$$

$$E_{\Pi} = U_{14} + U_5, \quad E_{\Pi} = U_{14} + U_6, \quad (3)$$

где $U_{14} \approx 0,7\text{В}$ – напряжение на входах токовых зеркал 1 и 3; U_{13} – статическое напряжение коллектор-база транзистора 13 - токового зеркала 3; U_{16} – статическое напряжение коллектор-база транзистора 16 - токового зеркала 1; U_{10} , U_{12} – статическое напряжение на элементах нагрузки 10 и 12; U_5 , U_6 – статическое напряжение на управляемых источниках тока 5 и 6.

Из уравнений (1)-(3) следует, что схема АПН рис. 1,б может работать при $E_{п} = 1,5\text{В}$, если $U_5 = U_6 = U_{13} = U_{10} = U_{16} = U_{12} = 0,8\text{В}$.

Условие $U_5 = U_6$ реализуется при типовых вариантах построения управляемых источников тока 5 и 6. Уравнения $U_{13} = U_{10}$ и $U_{16} = U_{12}$ накладывают ограничения на диапазон изменения выходного напряжения перемножителя. Если выбрать $U_{13}=U_{10}=U_{16}=U_{12}=0,4\text{ В}$, то $u_{\text{вых.1}}$ и $u_{\text{вых.2}}$ могут изменяться от статического уровня 1,1 В на $\pm 0,4\text{ В}$, что вполне удовлетворяет многим применениям АПН. Для дифференциального выхода изменения потенциалов при $E_{п} = 1,5\text{ В}$ составляют:

$$u_{\text{вых.max}} = u_{\text{вых.1}} - u_{\text{вых.2}} = 0,8\text{ В}.$$

Таким образом, АПН рис. 1,б может иметь приемлемый для большинства применений диапазон изменения выходного напряжения при $E_{п} = 1,5\text{ В}$.

Если в схеме рис. 1,б используется токовый выход, т.е. сопротивление цепей нагрузки 10 и 12 мало, то в этом случае возможно дальнейшее уменьшение напряжения питания. Предельные $E_{п.min}$ будут определяться схемотехникой управляемых источников тока 5 и 6.

Применение дополнительных токовых зеркал на р-п-р- транзисторах (рис. 2) позволит при $E_{п} = 1,5\text{ В}$ получить диапазон изменения дифференциального выходного напряжения, близкий к 1,5 В, что характерно для схем с rail-to-rail - выходом.

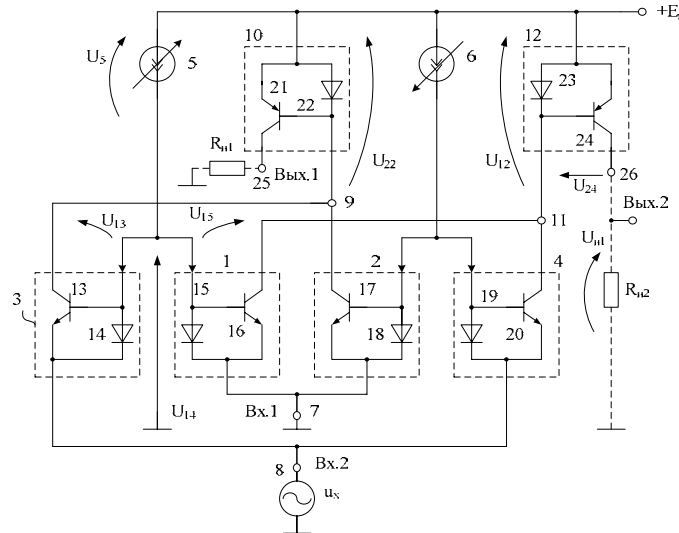


Рис. 2. АПН с rail-to-rail - выходом [1]

В схеме рис. 3 за счет введения повторителей напряжения на р-п-р- транзисторах обеспечивается преобразование «привязанных» к общей шине ис-

точников питания сигналов u_y и \bar{u}_y во входные токи токовых зеркал 1 и 3, 2 и 4. В частном случае в схеме рис. 3 коллекторы транзисторов 30 и 35 могут подключаться к общей шине, что не потребует отрицательных источников питания.

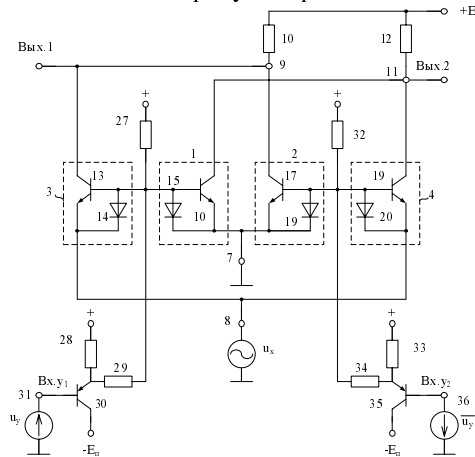


Рис. 3. Вариант построения управляемых источников тока АПН [2]

Особенность схемы рис. 4 состоит в том, что повторители напряжений 37 и 38 не влияют на статические токи токовых зеркал 1-4, которые устанавливаются управляемыми источниками 5 и 6.

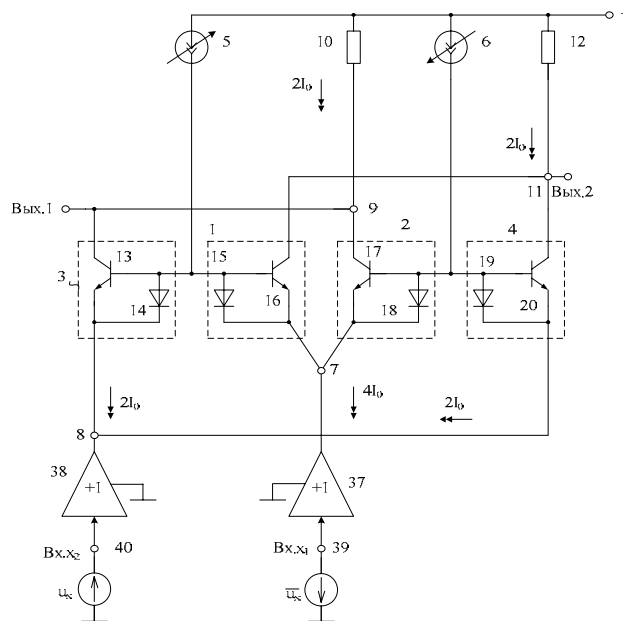


Рис. 4. Архитектура АПН с буферными усилителями [2]

В схеме рис. 5 за счет введения транзисторов 41 и 43 существенно упрощается решение задачи преобразования напряжений u_y и \bar{u}_y во входные токи токовых зеркал 1 и 3, 2 и 4.

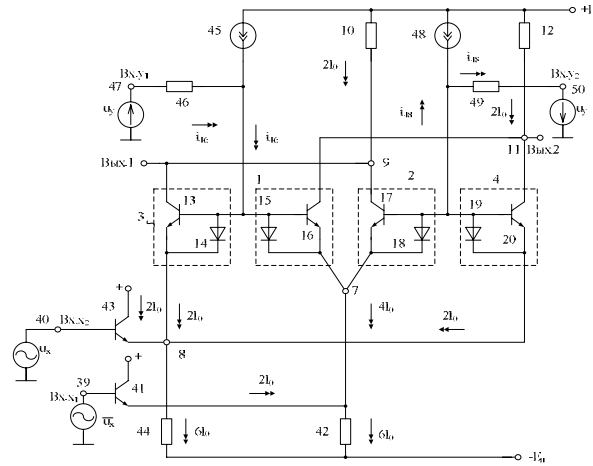


Рис. 5. Практическая схема АПН с буферными усилителями [2]

Это объясняется тем, что при $u_y = \bar{u}_y = 0$ токи через резисторы 46 и 49 близки к нулю и данные резисторы непосредственно определяют крутизну преобразования этих напряжений во входные токи токовых зеркал:

$$i_{46} \approx \frac{u_y}{R_{46}}, i_{49} \approx \frac{\bar{u}_y}{R_{49}}. \quad (4)$$

При этом эмиттерные токи транзисторов 41 и 43 практически не зависят от сигнала по каналу «Y».

Применение АПН в качестве управляемого усилителя показывает, что в таком включении обеспечивается достаточно линейная характеристика управления $K_u = f(U_{var})$, где $U_{var} = u_y$ – напряжение на входе «Y».

На рис. 6 приведена схема АПН рис. 5 в среде компьютерного моделирования PSpice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП «Пульсар». Анализ свойств АПН рис. 6 в режиме перемножения двух напряжений (рис. 7) показывает, что предлагаемое техническое решение обеспечивает удовлетворительную для многих применений погрешность выполнения данной математической операции.

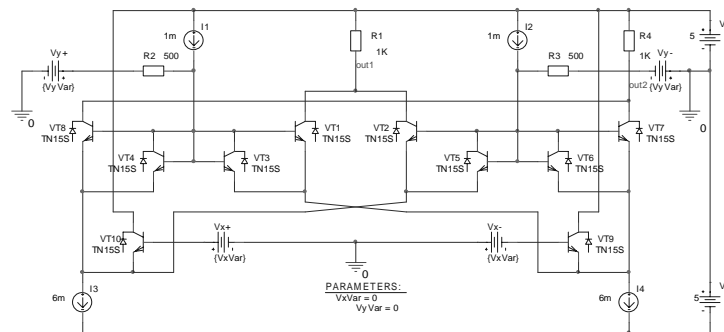


Рис. 6. Схема АПН в среде компьютерного моделирования PSpice

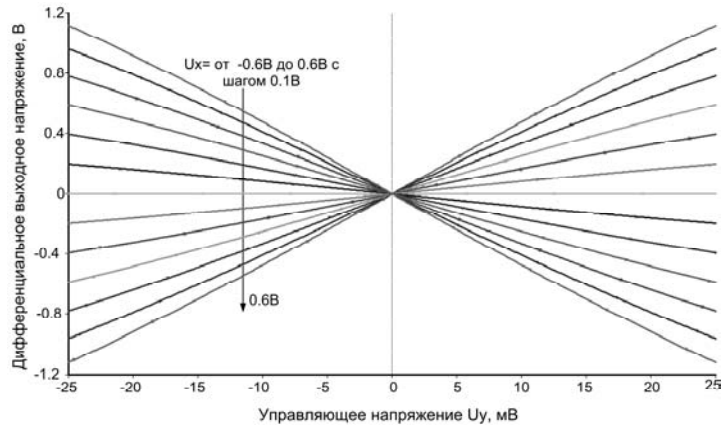


Рис. 7. Результаты компьютерного моделирования АПН в среде PSpice

Данные графики показывают, что предлагаемый АПН является четырехквadrантным перемножителем. При этом погрешности перемножения могут быть достаточно малыми [2].

Возможный вариант построения АПН с экстремально низким напряжением питания приведен на рис. 8, где управляемые источники тока 5 и 6 реализованы в базе ВtFET-транзисторов [2].

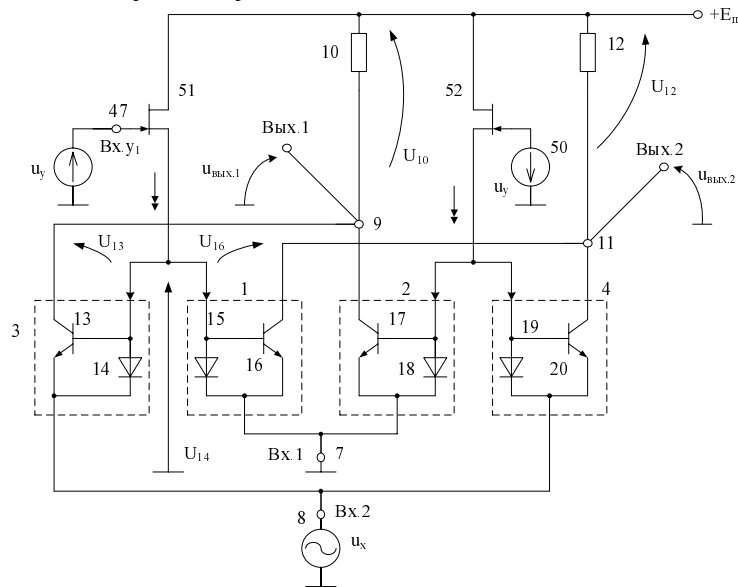


Рис. 8. АПН с экстремально низким напряжением питания [2]

Таким образом, предлагаемая архитектура аналогового перемножителя на базе токовых зеркал [2] имеет более низкие значения напряжений питания, что позволяет использовать для ее построения высокочастотные SiGe - транзисторы и расширить при этом диапазон рабочих частот систем на кристалле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент США № 5.329.189.
2. Аналоговый перемножитель напряжений [Текст] : заявка на патент Российской Федерации, МПК8 H03F 3/45. / Прокопенко Н.Н., Конев Д.Н., Серебряков А.И.; № 2008147666/09; заявл. 02.12.2008.

Прокопенко Николай Николаевич

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»

E-mail: prokopenko@sssu.ru
346500, Шевченко, 147, Шахты. Тел: 88636 22-20-37

Конев Даниил Николаевич

Email: prokopenko@sssu.ru
Тел: 88636 22-20-37

Серебряков Александр Игоревич

Email: prokopenko@sssu.ru
Тел: 88636 22-20-37

Prokopenko Nicolay Nicolaieich

State educational institution of the higher vocational training «South Russian State University of Economics and Service»

E-mail: prokopenko@sssu.ru
147, Shevchenko, Shakhti, 346500, Phone: 88636 22-20-37

Konev Danil Nicolaevich

E-mail: prokopenko@sssu.ru
Phone: 88636 22-20-37

Serebryakov Alexandr Igorevich

E-mail: prokopenko@sssu.ru
Phone: 88636 22-20-37

УДК.621.391

Е.А. Семенищев, В.И. Марчук

**СГЛАЖИВАНИЕ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОГО
КРИТЕРИЯ СРЕДНЕГО КВАДРАТА КОНЕЧНОЙ РАЗНОСТИ ВТОРОГО
ПОРЯДКА И МИНИМУМА СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО
ОТКЛОНЕНИЯ**

В работе представлен метод сглаживания сигналов, представленный единственной реализацией случайного процесса конечной длины, в условиях ограниченного объёма априорной информации о функции сигнала и статистических характеристиках шума. Представлен подход к возможности использования полученного метода для сглаживания сигналов по мере поступления данных и произведён расчёт элементов необходимых для построения сглаживающего фильтра на основе полученных выражений.

Метод; процесс; фильтр.