

УДК 621.312/313: 621.317.31

УЛУЧШЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ

Е.В. Бедарева, Э.И. Цимбалист, П.Ф. Баранов, А.А. Левицкий*

E.V. Bedareva, E.I. Tsimbalist, P. F. Baranov, A.A. Levitskiy*

Рассмотрены способы улучшения динамических характеристик коаксиальных шунтов переменного тока. Использован мультипликативный метод повышения точности с применением амплитудных корректоров. Предложены варианты реализации коррекции и проведен их анализ. Применение компенсирующих цепей первого порядка подтвердило возможность расширения полосы рабочих частот коаксиальных шунтов.

Ключевые слова:

Коаксиальные шунты, динамические характеристики, коэффициент преобразования, способы улучшения, амплитудный корректор

Key words:

Coaxial shunts, dynamic behavior, conversion factor, improvement methods, amplitude corrector

Введение

При испытаниях электромеханического и силового оборудования в современных лабораториях [1,2] необходимо измерять частотные и временные параметры действующего на них токового воздействия. С этой целью используются различные измерительные преобразователи тока в напряжение. Среди них широкое применение нашли шунты переменного тока коаксиальной конструкции, благодаря их малой стоимости, температурной погрешности и сравнительной простоте изготовления [3-5]. Одной из важных характеристик шунта, определяющей его динамические свойства, является амплитудно-частотная характеристика (далее – АЧХ).

АЧХ коаксиального шунта зависит от толщины стенки резистивной трубки и способа подключения потенциальных выводов [5] и в ряде случаев полоса пропускания может не удовлетворять требованиям при испытаниях силового оборудования [2].

Целью данной статьи является рассмотрение способов увеличения полосы пропускания АЧХ коаксиальных шунтов при заданном уровне затухания за счет использования схем амплитудных корректоров.

Объект исследований

Объектом исследований выбран коаксиальный шунт со следующими параметрами: толщина резистивной трубки – 1 мм; длина – 90 мм; внутренний радиус – 10 мм; сопротивление на постоянном токе – 750 мкОм (рис.1). Потенциальные выводы шунта подключены к внутренней поверхности его резистивной трубки для обеспечения максимально возможной полосы пропускания АЧХ [5].

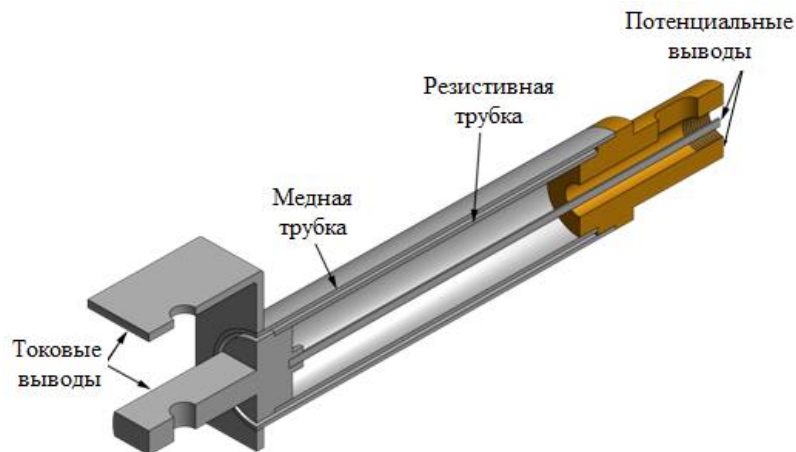


Рис. 1. Конструкция коаксиального шунта

Теория электромагнитных процессов в таком шунте позволяет получить выражение для его коэффициента преобразования входного тока в выходное напряжение (комплексного сопротивления шунта) [3]:

$$\dot{K}_{\text{пр.ш}} = \dot{Z}_{\text{ш}} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{R(1+j)m\Delta}{\text{sh}[(1+j)m\Delta]}, \quad (1)$$

где R – сопротивление шунта на постоянном токе, Ом; $m = \sqrt{\omega\mu/2\rho}$ – величина, обратная эквивалентной глубине проникновения волны, м^{-1} ; μ – магнитная постоянная, Гн/м; ω – круговая частота, рад/с; ρ – удельное сопротивление материала резистивной трубки, Ом·м; Δ – толщина резистивной трубки, м.

Для рассчитанной с использованием формулы (1) АЧХ верхняя частота полосы пропускания при 1 % затухании составляет около 80 кГц (частота среза составляет 560 кГц).

В указанной полосе частот АЧХ хорошо аппроксимируется звеном первого порядка: $\dot{K}_{\text{пр.ш}} = \dot{Z}_{\text{ш}} = \dot{U}/\dot{I} = R/(1+j\omega\tau_{\text{ш}})$ при постоянной времени шунта $\tau_{\text{ш}} \approx 0,3$ мкс.

Экспериментальное подтверждение теоретической зависимости АЧХ шунта и его линейности было осуществлено на установке, в которой в качестве источника нормированного по значению тока использован многофункциональный калибратор Fluke 5520 А, а средством измерений служил синхронный усилитель с дифференциальным входом [6], который работал в режиме селективного вольтметра с разрешением 100 нВ.

Благодаря возможностям генератора АЧХ шунта измерялась при токе 0,1 А в диапазоне частот до 30 кГц, а линейность шунта проверялась на частоте 1 кГц в диапазоне токов (0,1 – 2) А.

Измеренное значение модуля сопротивления шунта на частоте 1 кГц составило 744,6 мкОм, изменение его АЧХ соответствовало поведению звена первого порядка, и в указанных пределах вариаций тока генератора шунт являлся линейным элементом.

Таким образом, теория и эксперимент показывают, что улучшение динамических характеристик шунта в виде расширения полосы пропускания на заданном уровне ослабления АЧХ можно проводить неадаптивными методами с помощью схем линейных корректоров.

Способы улучшения динамических характеристик коаксиальных шунтов

В статье [5] использован конструктивный метод улучшения АЧХ коаксиального шунта за счет применения оптимального подключения его выводов, а именно подключение потенциальных выводов к внутренней поверхности резистивной трубки. Дальнейшее улучшение характеристик осуществляется за счет включения дополнительных пассивных или активных схем, реализующих структурные методы повышения точности. Они состоят из двух основных методов [7]:

- метода уравнивающего преобразования;
- метода коррекции погрешностей.

Метод уравнивающего преобразования основан на масштабном преобразовании значения меры, т.е. применение многозначных мер, заложенных в приборе, либо на масштабном преобразовании измеряемой величины, т.е. применение многозначной меры отношения. Для реализации данного метода необходимо наличие меры сравнения или эталонного калибратора тока, таким образом, его применение к решению поставленной задачи нецелесообразно.

Метод коррекции погрешности заключается в создании корректирующего воздействия, управляемого возмущающим воздействием и направленного на компенсацию погрешности, создаваемой этим же фактором в измерительном устройстве или создании воздействия, управляемого погрешностью измерительного устройства и направленного на ее уменьшение.

По способу корректирующего воздействия методы коррекции погрешности подразделяются на аддитивные, мультипликативные и аддитивно-мультипликативные.

Для улучшения частотных характеристик коаксиальных шунтов целесообразно использовать мультипликативный метод повышения точности, основанный на применении амплитудных корректоров (АК) [7]. Одним из условий использования АК является обеспечение лучшей стабильности его характеристик по сравнению с аналогичными данными корректируемого устройства – шунта. Поэтому при анализе схем корректоров – амплитудных, фазовых, сигналов (формы) обязательным является анализ их чувствительности к дестабилизирующим факторам.

Реализация и анализ схем амплитудной коррекции

Амплитудный корректор – это четырехполюсник, который при использовании мультипликативного метода включается каскадно с корректируемым устройством. Его задача заключается в том, чтобы дополнить с заданной погрешностью АЧХ коэффициента преобразования до постоянной величины в полосе рабочих частот.

В качестве примера проведем анализ пассивной части АК, предложенного в работе [2] (рис. 2).

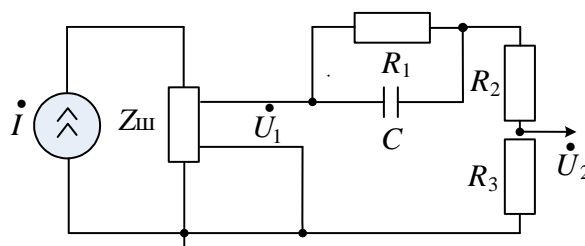


Рис. 2. Схема включения шунта и пассивной части АК

Комплексный коэффициент преобразования схемы равен:

$$\dot{K}_{\text{ш}} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}} = \dot{K}_{\text{ак}} \cdot \frac{R}{(1 + j\omega\tau_{\text{ш}})} = K(0) \cdot \frac{1 + j\omega\tau_1}{1 + j\omega\tau} \cdot \frac{R}{1 + j\omega\tau_{\text{ш}}}, \quad (2)$$

$$\text{где } K(0) = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad \tau_1 = R_1 \cdot C; \quad \tau = \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot C.$$

Из (2) следует одна из возможных стратегий коррекции: при $\tau_1 = \tau_{ш}$ компенсируется нуль и один из полюсов функции преобразования; тогда выигрыш в полосе пропускания АЧХ нарастает по мере уменьшения постоянной времени τ корректирующей цепи относительно постоянной времени шунта.

Предельный вариант выигрыша $A = \tau_{ш}/\tau$ в полосе пропускания АЧХ скорректированного шунта возникает, когда $\tau \ll \tau_1 = \tau_{ш}$. Однако, это условие автоматически приводит к уменьшению передачи пассивной части АК на постоянном токе, т.е. к $K(0) \ll 1$. Из этого следует, что снижается чувствительность шунта к измеряемому току из-за малого его сопротивления, а также для восстановления чувствительности потребуется схема на операционном усилителе, которая внесет свой вклад в результирующую АЧХ и ухудшит ее.

Условие $K(0) \ll 1$ приводит к дополнительным проблемам при выборе резисторов АК, обеспечивающих требуемую стабильность $K(0)$ и коэффициента преобразования в целом.

Действительно, используя выражение (2), найдем полный дифференциал коэффициента $K(0)$, а затем и его максимальную относительную нестабильность, полученную с использованием линейных членов разложения в ряд Тейлора без учета знака отклонения сопротивлений от их номинального значения:

$$\delta_K = \frac{dK(0)}{K(0)} \approx [1 - K(0)] \cdot \delta_R, \quad (3)$$

где $\delta_R \approx \delta_{R1} + \delta_{R3}$ – относительная погрешность сопротивлений АК.

При $K(0) \ll 1$ и одинаковых относительных погрешностях сопротивлений δ_R этот параметр должен быть почти в два раза лучше

требуемой относительной нестабильности δ_K , что ужесточит требования при их выборе.

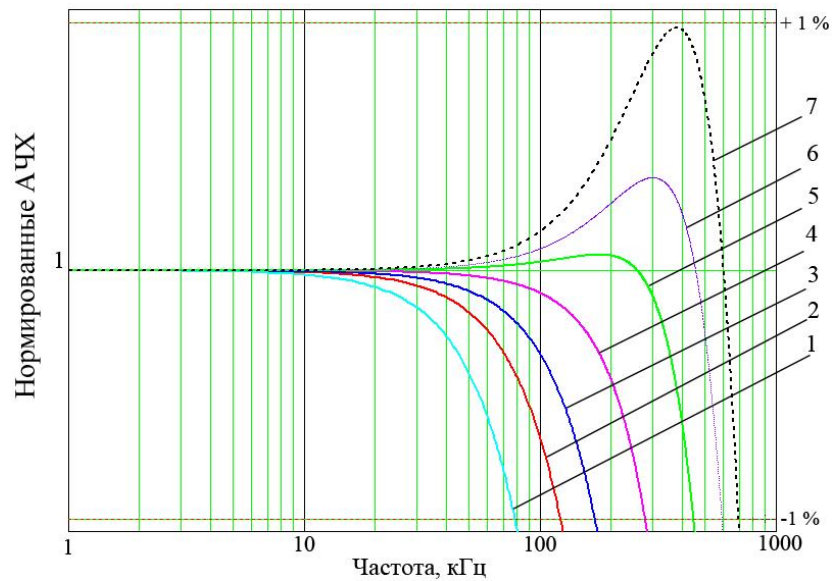
Следовательно, использование в предложенной схеме АК больших значениях выигрыша $A = \tau_{ш}/\tau$ по этой причине может быть нецелесообразным.

Рассмотрим поведение схемы АК для относительно небольших значений коэффициента A . На основании выражений (2) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} R_1 = (A - 1) \cdot (R_2 + R_3); \\ K(0) = \frac{R_3}{A \cdot (R_2 + R_3)} = \frac{K(\infty)}{A}; \\ K(\infty) = \frac{R_3}{(R_2 + R_3)} < 1. \end{cases} \quad (4)$$

Задавая значения коэффициента A при фиксированных значениях сопротивления $R_1 = 100$ Ом и емкости $C = 3$ нФ, определим все параметры элементов схемы АК, используя систему уравнений (4). Такой подход позволяет получить нормированные АЧХ скорректированного шунта при различных значениях коэффициента A и определить границы полосы пропускания на уровне $\pm 1\%$ затухания коэффициента преобразования (рис. 3).

Рассмотренная выше стратегия выбора элементов АК предполагала, что АЧХ скорректированного шунта будет монотонно уменьшаться с повышением частоты. Из рис. 3 видно, что в этом случае (при $A = 1,5 - 3$, кривые 2 - 4) АЧХ не имеет выброса, и схема пассивного корректора позволяет расширить полосу рабочих частот на уровне затухания 1% с 80 кГц до 300 кГц.



АЧХ: 1 – шунта; 2 – шунта и АК ($A = 1,5$; $K(0) = 0,6$); 3 –шунта и АК ($A = 2$; $K(0) = 0,4$); 4 – шунта и АК ($A = 3$; $K(0) = 0,3$); 5 – шунта и АК ($A = 5$; $K(0) = 0,15$); 6 – шунта и АК ($A = 10$; $K(0) = 0,09$); 7 – шунта и АК ($A = 10$; $K(0) = 0,09$ и $\tau_{ш}/\tau_1 \neq 1$)

Рис. 3. Нормированные АЧХ коэффициентов преобразования

Если допустить перекоррекцию нормированной характеристики в пределах $\pm 1\%$ зоны, то перекоррекция при относительно больших коэффициентах A происходит из-за того, что шунт в расширенной полосе частот перестает быть звеном первого порядка (кривые 5 – 6). Перекоррекцию АЧХ в указанной 1% зоне также вызывает незначительные изменения соотношения между постоянными времени τ_1 и $\tau_{ш}$ (кривая 7).

При такой немонотонности АЧХ скорректированного шунта ее верхняя частота в зоне $\pm 1\%$ достигнет 600 кГц, а частота среза по уровню 3 дБ почти 2 МГц.

Таким образом, нескорректированный шунт на частоте среза 560 кГц имел 30% затухание своего нормированного коэффициента преобразования, а скорректированный – резко улучшил свои динамические свойства, обеспечивая на той же частоте завал АЧХ менее

1 % (кривые 6 – 7) и выигрыш более чем в 30 раз относительно нескорректированного шунта.

Однако, говорить о выигрыше в динамических свойствах скорректированных измерительных преобразователей можно только после расчета чувствительности их схем корректоров к дестабилизирующим факторам, так как проблема точности является центральной в теории чувствительности и с ней связана достоверность математического анализа и эксперимента.

Следовательно, нужно оценить изменения корректирующих свойств АК из-за отклонения параметров его элементов от номинальных значений, считая свойства шунта неизменными, как наиболее стабильного элемента схемы измерительного преобразователя.

Так как в устройствах с коррекцией остаточная погрешность является величиной второго и более высоких порядков малости, то часто необходимо определение погрешности, являющейся полным приращением функции преобразования измерительного устройства, в том числе, от больших приращений ее аргументов [8].

С этой целью будем находить расстояние между АЧХ с номинальными параметрами элементов АК и АЧХ с измененными под влиянием дестабилизирующих факторов параметрами элементов корректора.

За меру близости этих двух функций примем неотрицательное число, называемое расстоянием. В теории приближения функций обычно используют линейную или среднеквадратическую меру.

Для измерительных преобразователей, работа которых прогнозируется с заданной погрешностью в оговоренной полосе частот, лучше ориентироваться на линейную меру расстояния, так как при квадратичной мере приближения необходимо гарантировать малую дисперсию отклонений функций в частотных точках.

Во многих случаях можно пренебречь разбросом детерминированных отклонений параметров элементов АК и считать, что эти отклонения равны для элементов одного вида.

При использовании в АК конденсаторов типа NP0 (C0G), емкость которых в рабочем диапазоне практически не зависит от температуры, времени, напряжения и частоты, нестабильность постоянных времени цепи будет определяться только нестабильностью сопротивлений $\delta_R = \Delta R/R$.

Исходя из принятых допущений, получим выражения для относительных погрешностей передачи АК на постоянном токе $\delta K(0)$, постоянных времени $\delta\tau$ и $\delta\tau_1$, для этого будем использовать формулы относительного приращения элементарных функций.

Относительная погрешность $\delta\tau$ определяется как:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta\tau = \frac{\Delta\tau}{\tau} = \frac{\delta_x - \delta_y}{1 + \delta_y} = \frac{2 \cdot \delta_R - \delta_R}{1 + \delta_R} \approx \delta_R; \\ \delta_x = \delta_{R_1} + \delta x_1 + \delta_{R_1} \cdot \delta x_1 \approx 2 \cdot \delta_R; \\ \delta x_1 = \frac{R_2 \cdot \delta_{R_2} + R_3 \cdot \delta_{R_3}}{x_1} = \delta_R; \\ \delta_y = \frac{R_1 \cdot \delta_{R_1} + R_2 \cdot \delta_{R_2} + R_3 \cdot \delta_{R_3}}{y} = \delta_R. \end{array} \right. \quad (5)$$

Аналогично получим:

$$\delta\tau_1 = \delta_R;$$

$$\delta K(0) = \frac{2\delta_R \cdot (R_1 + R_2)}{(1 + \delta_R) \cdot R_1 + (1 + \delta_R) \cdot R_2 + (1 + \delta_R) \cdot R_3}.$$

Проанализируем наихудший случай влияния нестабильности сопротивлений на АЧХ скомпенсированного шунта при фиксированных значениях выигрыша АК: $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 1.1 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $C = 3 \text{ нФ}$.

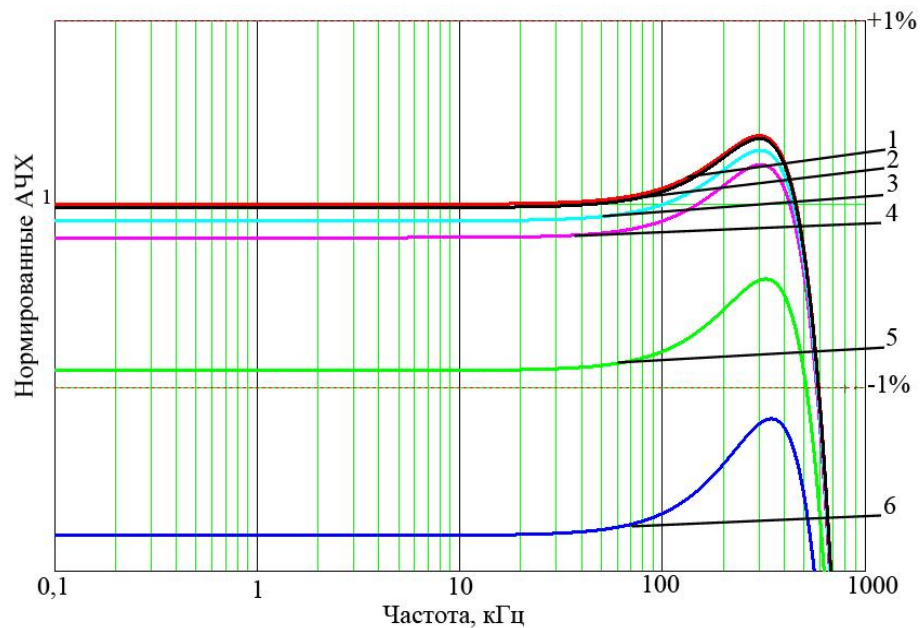
Отклонения АЧХ скорректированного шунта от номинальной будем определять по формуле:

$$\Delta|\dot{K}_{np}| = |\dot{K}_{np}|_H - |\dot{K}_{np}|_P, \quad (6)$$

где $|\dot{K}_{np}|_H$ – АЧХ с номинальными параметрами элементов;

$|\dot{K}_{np}|_P$ – АЧХ с учетом влияния нестабильности сопротивлений АК.

На рис. 4 представлены результаты аналитического моделирования АЧХ скорректированного шунта при относительных нестабильностях δ_R (0,01 – 1) %.



АЧХ: 1 –шунта и АК при $\delta_R = 0$ %; 2 –шунта и АК при $\delta_R = 0,01$ %; 3 –шунта и АК при $\delta_R = 0,05$ %; 4 –шунта и АК при $\delta_R = 0,1$ %; 5 –шунта и АК при $\delta_R = 0,5$ %; 6 – шунта и АК при $\delta_R = 1$ %.

Рис. 4. Влияние нестабильности сопротивлений АК на АЧХ скорректированного шунта

Из зависимостей, представленных на рис. 4 видно, что для обеспечения границ полосы пропускания на уровне ± 1 % затухания коэффициента преобразования скорректированного шунта в АК необходимо использовать сопротивления с отклонениями от номиналов не хуже 0,1 % (кривые 2 – 4). Использование сопротивлений с погрешностью 0,5 % приводит к уменьшению полосы пропускания до

500 кГц (кривая 5). Применение сопротивлений с погрешностью 1 % и более в предельном случае выводит АЧХ за пределы рассматриваемой зоны (кривая 6).

Однако поскольку вероятность сочетания параметров схемы, близких к наихудшим в реальных устройствах мала, то оценки по методу наихудшего случая оказываются значительно завышенными. Более точные рекомендации можно получить, если воспользоваться статистическими методами, учитывающими вероятностные законы распределения параметров элементов АК.

Другие возможности улучшения динамических характеристик шунта

Приведенная на рис. 3 схема пассивного корректора имеет комплексный коэффициент передачи в виде дробно-рациональной функции с одним нулем и одним полюсом. Как отмечалось выше, при рассмотренных принципах коррекции АЧХ шунта одной корректирующей цепью не удастся полностью скорректировать его инерционность, представленную даже звеном первого порядка.

Помимо рассмотренной в [2] схемы коррекции расширение полосы пропускания АЧХ можно достичь различными вариантами активных корректоров, в которых их передаточные функции полностью корректировали бы характеристику шунта, представленную функцией первого порядка.

Такую возможность можно реализовать множеством схем, примеры которых показаны на рис. 5, при условии, что в полосе предполагаемых рабочих частот операционный усилитель (ОУ) практически ведет себя как безынерционный элемент. В этом случае модули коэффициентов преобразования схем пропорциональны отношению двух полиномов первого порядка, которые компенсируются при равенстве постоянных

времени шунта и корректирующих цепей, а неравномерность АЧХ обуславливается на более высоких частотах за счет влияния более высокочастотных нулей и полюсов характеристики шунта.

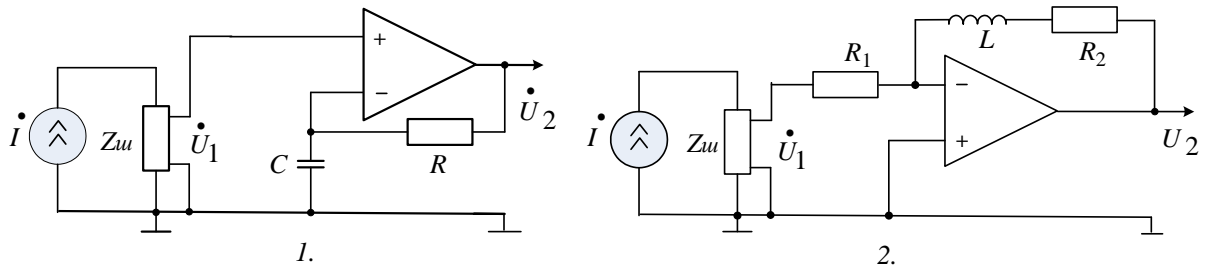


Рис. 5. Варианты схем активных корректоров преобразователей тока в напряжение

Недостатком всех выше предложенных схем является взаимная коррекция частотных характеристик объектов разной физической природы (с одной стороны шунта, с другой – элементов электронной схемы).

Выбор элементов схем амплитудных корректоров

Расширение полосы рабочих частот скорректированного шунта требует грамотного выбора пассивных и активных (ОУ) элементов АК, так как их частотные свойства и различного вида нестабильности параметров могут значительно ухудшить ожидаемый положительный эффект.

Рассмотрим требования к ОУ в схемах активных корректоров (рис. 5), когда частотные искажения усилителя не должны оказывать влияния вплоть до частот в сотни килогерц. К тому же у такого ОУ должна быть малая плотность шумов из-за низких уровней напряжения на выходе шунта при относительно малых протекающих через него токах.

В этой связи, обратим внимание на специализированный усилитель AD797 фирмы Analog Device, у которого частота f_T , как произведение

усиления на ширину полосы пропускания, составляет 110 МГц ($K_0 = 2 \cdot 10^7$, $f_{CP} = 5$ Гц, $R_{ВХд} = 7,5$ кОм, $R_{ВХсф} = 100$ МОм).

Плотность напряжения его шумов равна 1 нВ/Гц^{-1/2}, но ток шумов не ниже, чем у стандартного операционного усилителя, поэтому AD797 обладает преимуществами при низкоомных источниках сигнала.

Как известно, на высоких частотах обычно используется интеграторное приближение для дифференциального коэффициента усиления операционного усилителя. Оно показывает, что вплоть до граничной частоты $f = f_T/K = f_T \cdot \beta$ усиление схемы K с обратной связью определяется значением коэффициента обратной связи β .

Если $f = 0,5$ МГц, то даже в этом случае такой усилитель будет вносить малые частотные искажения вплоть до усиления в несколько сотен. Он будет практически безинерционным, и удовлетворит потребности изготовления схем активных корректоров.

Что касается пассивных элементов АК, то при их выборе необходимо обратить особое внимание на погрешность их изготовления, температурную нестабильность и инерционность.

Благодаря низкоомному сопротивлению шунтов, сопротивления в пассивных частях АК обычно ниже 300 Ом. Поэтому они относятся к низкоомным резисторам, для которых инерционность в основном определяется паразитной индуктивностью. Чтобы ее уменьшить, следует выбирать чип-резисторы, предназначенные для поверхностного монтажа схем. Необходимые для установки в АК резисторы с нужной точностью и малым ТКС можно найти среди продукции российских и иностранных фирм.

Выводы

Рассмотренные способы улучшения амплитудно-частотной характеристики коаксиального шунта позволяют расширить его полосу

пропускания с использованием различных компенсирующих цепей. Элементы, входящие в амплитудный корректор должны быть стабильными к различным дестабилизирующим факторам.

Аналитическое моделирование показало, что для обеспечения границ полосы пропускания на уровне $\pm 1\%$ затухания коэффициента преобразования скорректированного шунта в АК необходимо использовать сопротивления с отклонениями от номиналов не хуже $0,1\%$

Для дальнейшего улучшения динамических характеристик шунта необходимо использовать амплитудные корректоры более высокого порядка или применять для коррекции объекты одинаковой природы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-08-90748 мол_рф_нр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kawamura T., Haginomori E., Goda Y., Nakamoto T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – V. 2. – No. 5. – P. 516 – 522.
2. Johnson C.M., Palmer P.R. Current measurement using compensated coaxial shunts // IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology. – V.141. – №. 6. – 1994. – P. 471 – 480.
3. Векслер М.С., Теплинский А.М. Шунты переменного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
4. Данилов А.А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. –2004. – № 1. – С. 26 – 35

5. Нефедьев Д.И. Метод поверки (калибровки) резистивных преобразователей больших постоянных токов // Датчики и системы. – 2006. – № 5. – С. 47 – 51

6. Е.В. Бедарева, Э.И. Цимбалист, С.В. Муравьев, П.Ф. Баранов. Влияние способов подключения потенциальных выводов на динамические характеристики коаксиальных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 4. – С. 159 – 164

7. Баранов П.Ф., Бориков В.Н. Синхронный усилитель с дифференциальным входом для метрологического обеспечения масштабных измерительных преобразователей // Приборы. – 2013. – № 4. – С. 8 – 11.

8. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств. – Киев.: Издательское объединение «Вища-школа», 1976. – 256 с.

9. Калниболотский Ю.М. и др. Расчет чувствительности электронных схем/ Ю.М. Калниболотский, Н.Н. Казанджан, В.В. Нестер. – К.: Техніка, 1982. – 176 с.

Сведения об авторах:

Фамилия, имя, отчество: **Бедарева Елена Вячеславовна**

Место работы: **Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет.**

Должность: **ассистент кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики**

Ученая степень \ ученое звание: **Аспирант**

Адрес: **634050 Томск, ул. Савиных 7, Корпус 18, Офис 604**

Тел./факс: **8 (3822) 41-75-27**

Адрес электронной почты: **bedareva@tpu.ru**

Область научных интересов: **математическое моделирование измерительных систем, методы и средства измерений электрических величин**

Фамилия, имя, отчество: **Цимбалист Эдвард Ильич**

Место работы: **Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет.**

Должность: **Доцент кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии.**

Ученая степень \ ученое звание: **Кандидат технических наук \ доцент**

Адрес: **634050 Томск, ул. Савиных 7, Корпус 18, Офис 606**

Тел./факс: **8 (3822) 42-04-49**

Область научных интересов: **Средства измерений, установки и системы, предназначенные для испытаний и поверки метрологических характеристик электронных вольтметров, многозначных мер и масштабных преобразователей напряжения переменного тока.**

Фамилия, имя, отчество: **Баранов Павел Федорович**

Место работы: **Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет.**

Должность: **инженер кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики.**

Ученая степень \ ученое звание: **нет**

Адрес: **634050 Томск, ул. Савиных 7, Корпус 18, Офис 604**

Тел./факс: **8 (3822) 42-04-49**

Адрес электронной почты: **bpf@tpu.ru**

Область научных интересов: **Методы и средства измерений электрических величин, графические программные технологии, аналитическое приборостроение, интеллектуальные системы.**

Фамилия, имя, отчество: **Левицкий Алексей Александрович**

Место работы: **Сибирский федеральный университет, г.Красноярск.**

Должность: **зав.кафедрой приборостроения и наноэлектроники Институт инженерной физики и радиоэлектроники**

Ученая степень \ ученое звание: **к.ф-м.н./ доцент**

Адрес: **г. Красноярск, пр.Киренского 28, офис Б-317**

Тел./факс: **(391) 2497-380**

Адрес электронной почты: **aalevitsky@rambler.ru**

Область научных интересов: **Область научных интересов: приборостроение, радиоэлектронные средства, микроэлектроники, наноэлектроника, микросистемная техника.**