

Следует отметить, что все указанные операции по выявлению «кода» разности амплитуд могут быть выполнены с помощью реверсивного счетчика импульсов. В процессе «уравнивания» амплитуд с помощью входных делителей напряжения добиваются «нулевого» значения «кода» разности.

## В В О Д Ы

В процессе измерения сдвига фаз с помощью квазидноканального преобразователя полностью устраняется необходимость регулировки и уравнивания уровней порогового детектирования сигналов фазометра. Это обусловлено специфическим свойством рассматриваемого преобразователя, в котором используется один общий усилитель и пороговый детектор.

Процесс преобразования сдвига фаз сопровождается методической погрешностью, которая обусловлена временным квантованием сигналов и может быть сделана оптимальной путем правильного выбора соотношения частоты несущей и верхней границы частотного диапазона.

Принцип квазидноканального преобразования содержит все необходимые предпосылки для объективного компарирования сигналов в процессе уравнивания амплитуд; используется возможность цифрового сравнения длительностей положительных выбросов исследуемых сигналов.

Рассмотренный принцип может найти применение в системах прецизионного кодирования разности угловых перемещений, в системах автоматической синхронизации вращающихся валов и т. п.

Поступило в редакцию  
22 февраля 1971 г.

УДК 621.317.39 : 084.2

Б. И. ЛИТВИНЕЦ, Г. А. ШТАМБЕРГЕР  
(Ивано-Франковск)

## ЕМКОСТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В практике измерения различных физических величин широкое применение получили емкостные измерительные преобразователи (ЕИП) [1—8]. Объясняется это сравнительной простотой самого преобразователя, а также совершенством устройств, предназначенных для измерения параметров конденсаторов. Подобная универсальность ЕИП привела к большому разнообразию конструкций преобразователей, разрабатываемых применительно к решаемой конкретной задаче, что, естественно, затрудняет выбор типа преобразователя при проектировании нового устройства.

Таблица 1

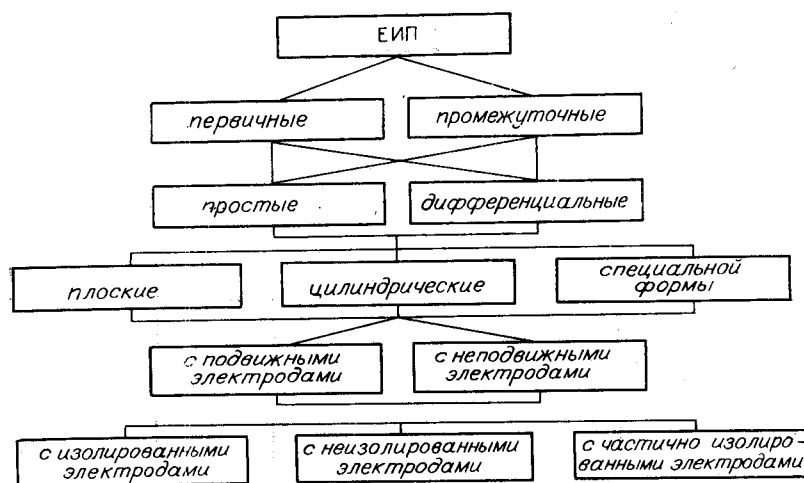
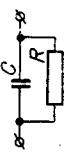




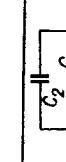
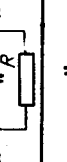
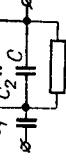


Таблица 2

Эквивалентная схема	tg δ	$\frac{\partial R_3}{\partial R}$	$\frac{\partial X_3}{\partial R}$
	$\frac{1}{\omega RC} = A$	$-\frac{A^2(1-A^2)}{(1+A^2)^2}$	$\frac{2A^3}{(1+A^2)^2}$
	$\frac{A}{1 + \frac{C}{C_1}(1+A^2)}$	$\frac{\left[\left(\frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 - 1\right] A^2}{\left[\left(\frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 + 1\right]^2}$	$2\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A^3$
	$\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A$	$\frac{\left[\left(\frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 - 1\right] A^2}{\left[\left(\frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 + 1\right]^2}$	$2\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A^3$
	$\frac{\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A}{1 + \frac{C}{C_1} \left[1 + \left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A^2\right]}$	$\frac{A^2 \left[ A^2 - \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]}{\left[ A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]^2}$	$2\left(1 + \frac{C_2}{C}\right) A^3$
	$\frac{A}{1 + \frac{C_2}{C}}$	$\frac{A^2 \left[ A^2 - \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]}{\left[ A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]^2}$	$2\left(1 + \frac{C_2}{C}\right) A^3$
	$\frac{A}{1 + \frac{C}{C_1} \left[ A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]}$	$\frac{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 - \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right] A^2}{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right]^2}$	$2\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) A^3$
	$\frac{\frac{R}{1 + \frac{R}{R_1}} A}{1 + \frac{C}{C_1} \left[ A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]}$	$\frac{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 - \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right] A^2}{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right]^2}$	$2\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) A^3$
	$\frac{\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A}{1 + \frac{C}{C_1} \left[ \left(1 + \frac{R}{R_1}\right) A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) \right]}$	$\frac{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 - \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right] A^2}{\left[\left(1 + \frac{R}{R_1}\right)^2 A^2 + \left(1 + \frac{C_2}{C}\right)\right]^2}$	$2\left(1 + \frac{R}{R_1}\right) \left(1 + \frac{C_2}{C}\right) A^3$

$$\frac{2A^3 [(bdA^2 - b^2ed)(1 + A^2)]}{b^2(1 + A^2) + d^2A^4} + \frac{abd^2A^2}{b^2(1 + A^2) + d^2A^4}$$

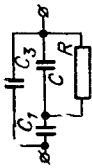
$$\frac{A^2(b^2 + d^2A^2)(1 + A^2)^2}{b^2(1 + A^2) + d^2A^4}$$

$$e = \frac{C}{C_1}; \quad d = 1 + \frac{C_3}{C_1}$$

$$\frac{A}{ab + edA^2}$$

$$a = 1 + \frac{C}{C_1}$$

$$b = 1 + \frac{C_3}{C} + \frac{C_3}{C_1}$$



В связи с этим возникает настоятельная необходимость в обоснованной систематизации ЕИП. Один из возможных вариантов достаточно полной классификации приведен в [8]. Эта классификация, однако, излишне детализирована и в то же время не учитывает роли преобразователя в измерительной цепи, не отражает некоторых его специфических особенностей, обеспечивающих возможность измерения при высоких проводимостях, направленных на уменьшение краевых эффектов, влияния агрессивности заполняющего вещества и т. д.

Структурная схема измерительного устройства с использованием ЕИП состоит из собственно преобразователя, канала связи и измерителя. Каждое из этих звеньев определяет метрологические и эксплуатационные свойства устройства в целом. Зачастую рациональный выбор преобразователя имеет первостепенное значение. Поэтому в настоящей работе будут рассмотрены только особенности построения и классификация преобразователей.

В зависимости от рода измеряемой величины, условий проведения эксперимента ЕИП может играть роль первичного или промежуточного преобразователя.

ЕИП могут быть выполнены в виде простых и дифференциальных конденсаторов, характеризующихся соответственно четным и нечетным числом рабочих электродов. В практике находят применение простые конденсаторы с нечетным числом электродов, в которых один или несколько нечетных служат в качестве защитных [1].

Наибольшее распространение получили плоские и цилиндрические ЕИП. Электроды плоских преобразователей могут размещаться параллельно или находиться в одной плоскости. Электроды цилиндрических преобразователей могут иметь одинаковые или разные радиусы. Кроме плоских и цилиндрических преобразователей, применяются (чаще всего для получения определенной зависимости изменения параметров преобразователя как функции измеряемой неэлектрической величины или компенсации влияния дестабилизирующих факторов) преобразователи специальной формы — тангенциальные, зубчатые и профильные.

Параметры ЕИП зависят от площади взаимного перекрытия электродов и расстояния между ними или объемной доли вещества и его электрических свойств при неподвижных электродах. Поэтому ЕИП можно делить на группы с подвижными и неподвижными электродами.

Электрические параметры ЕИП существенно зависят от характера покрытия рабочей поверхности электродов. В случае измерения характеристик агрессивных и электропроводных сред электроды покрываются изоляционным составом, свойства которого необходимо учитывать при градуировке преобразователя. В некоторых случаях изоляционным материалом покрываются только те части электродов, которые обуславливают возникновение краевых эффектов.

Всем этим объясняется существующее многообразие реализаций ЕИП. Один из возможных вариантов классификации ЕИП, охватывающей перечисленные признаки, приведен в табл. 1. По-видимому, более детальная классификация емкостных преобразователей вряд ли целесообразна, так как будет содержать отдельный класс либо преобразователей, либо физических величин.

Значительные затруднения вызывает определение функциональной зависимости между измеряемой и преобразованной величинами, в особенности, когда исследуемое вещество заполняет пространство между электродами. Объясняется это трудностями, связанными с аналитическим определением степени влияния каждого вида поляризации, имеющего место в исследуемом веществе [9—13], наличием большого числа мешающих факторов, обусловленных различными примесями, состоянием и строением исследуемого вещества, что значительно усложняет анализ свойств преобразователя.

Полученное расчетным путем значение емкости конденсатора, учитывающее его геометрические размеры и конфигурацию, не включает емкости  $C_n$ , обусловленной наличием выводов, изоляционных и других деталей, и емкости  $C_k$ , обусловленной краевым эффектом и зависящей от положения диэлектрика относительно краев обкладок и его диэлектрических свойств [1]. Обычно эти емкости следует считать паразитными, их изменение приводит к увеличению общей погрешности измерения.

Независимо от структуры эквивалентной схемы замещения емкостного преобразователя он может быть представлен двухполюсником с комплексным сопротивлением  $Z$ , активная и реактивная составляющие которого являются функцией электрических параметров вещества, заполняющего ЕИП, и частоты  $\omega$ .

Обычно значительно преобладает одна из составляющих этого сопротивления, и в частности реактивная. Различные мешающие факторы влияют одновременно на обе составляющие не в одинаковой степени. В результате экспериментальных исследований воспроизводимости электрических характеристик различных преобразователей установлено, что она значительно выше для реактивной, чем для активной, поэтому влияние активной составляющей на результат измерения стремятся исключить, ослабить или стабилизировать [1]. Для уменьшения влияния активной составляющей на результат измерения часто рекомендуется подключение к преобразователю дополнительных сосредоточенных элементов. В [1] и др. рассматриваются наиболее простые схемы включения таких элементов. В то же время при решении конкретных задач может оказаться целесообразным применение более сложных корректирующих звеньев, схемы которых даны в табл. 2. Здесь же приведены значения эквивалентного тангенса угла диэлектрических потерь, выраженные через  $\operatorname{tg} \delta$  двухэлементной цепи, а также значения чувствительностей, соответствующих отношению приращения эквивалентных активной и реактивной составляющих полного сопротивления преобразователя к изменению сопротивления  $R$ . При анализе этих цепочек нами установлено, что чувствительности к изменению емкости преобразователя находятся в следующей связи с чувствительностями, приведенными в табл. 2:

$$\frac{\partial R_3}{\partial C} = -\omega R^2 \frac{\partial X_3}{\partial R}; \quad \frac{\partial X_3}{\partial C} = \omega R^2 \frac{\partial R_3}{\partial R}.$$

Обычно  $R_1 \ll R$  [1],  $C_1$  — дополнительная постоянная емкость конденсатора, или емкость, образующаяся за счет слоя воздуха или диэлектрика между исследуемым веществом и электродами,  $C_2$  и  $C_3$  — емкости образцовых конденсаторов, используемых при реализации методов одновременного или разновременного сравнения или при подключении к ЕИП дополнительной индуктивности, являются элементами колебательного контура и служат для первоначальной его настройки.

Таким образом, несмотря на кажущуюся простоту ЕИП, возможность преобразования самых различных величин, совершенство современных методов измерения параметров конденсаторов, выбор типа преобразователя не является простой задачей и требует проведения серьезного предварительного анализа его метрологических свойств и разработки путей уменьшения влияния на результат измерения различных дестабилизирующих факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Берлинер. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. М.—Л., «Энергия», 1965.
2. И. Форейт. Емкостные датчики неэлектрических величин.— Библиотека по автоматике, вып. 213. М.—Л., «Энергия», 1966.
3. А. А. Лапшин. Электрические влагомеры.— Библиотека по автоматике, вып. 21. М.—Л., «Энергия», 1960.
4. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, А. И. Новик. Емкостные самокомпенсированные уровнемеры.— Библиотека по автоматике, вып. 195. М.—Л., «Энергия», 1966.

5. Б. З. Михлин. Высокочастотные емкостные и индуктивные датчики. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
6. А. М. Туричин. Электрические измерения неэлектрических величин. М.—Л., «Энергия», 1966.
7. M. Lapiński, W. Włodarski. Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych. WNT, Warszawa, 1968.
8. А. Л. Грохольский, В. И. Никулин. О перспективах применения емкостных датчиков.—Автоматика, 1967, № 1.
9. В. Т. Ренне. Электрические конденсаторы. Л., «Энергия», 1969.
10. А. Хиппель. Диэлектрики и их применение. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
11. Н. П. Богородицкий, Ю. М. Волокобинский, А. А. Воробьев, Б. М. Тареев. Теория диэлектриков. М.—Л., «Энергия», 1965.
12. А. Деккер. Физика электротехнических материалов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
13. В. Браун. Диэлектрики. М., Изд-во иностр. лит., 1961.

*Поступило в редакцию  
14 июля 1970 г.,  
окончательный вариант —  
31 мая 1971 г.*

УДК 621.317.32 : 621.374.35

В. В. ЕВСЕЕВ, В. Д. КОЗЛОВ  
(Москва)

### АНАЛОГОВОЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА МИКРОСХЕМАХ

В сообщении описано устройство, производящее выборки мгновенных значений напряжения и хранение их.

Известно аналоговое запоминающее устройство (АЗУ) [1, 2], выполненное по схеме заряда накопительного конденсатора с применением компаратора и цепи отрицательной обратной связи. Оно имеет повышенную точность и быстродействие, а также более высокое входное сопротивление по сравнению с другими известными схемами.

Рассматриваемое устройство фиксации уровня напряжения выполнено на интегральных схемах 1УТ221В, 1УТ401Б с применением полевого транзистора 2П302Б. Устройство имеет малые габариты и практически не требует настройки.

Принципиальная схема описываемого АЗУ приведена на рисунке. На дифференциальном усилителе 1УТ221В происходит сравнение входного и выходного сигналов в момент взятия выборки, которая осуществляется управляющим импульсом, подаваемым на вход 8 данной микросхемы. Сигнал рассогласования подается на операционные усилители 1УТ401Б. В зависимости от полярности сигнала рассогласования открывается один из диодов  $D_1$  или  $D_2$ , подключенных к выходу усилителей, и происходит перезаряд емкости до момента равенства входного сигнала и напряжения на выходе АЗУ. После окончания импульса выборки схема переходит в режим хранения уровня напряжения. В режиме хранения диоды  $D_1$  и  $D_2$  закрываются независимо от полярности запоминаемого напряжения. Это осуществляется с помощью напряжения смещения, которое образуется на сопротивлениях  $R_2$ ,  $R_3$ , подключенных к входам операционных усилителей, за счет падения напряжения от источника питания в цепи  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ . Операционные усилители усиливают его и запирают диоды  $D_1$ ,  $D_2$  в режиме хранения информации. В качестве буферного каскада применен полевой транзистор 2П302Б.

Настройка данного запоминающего устройства осуществляется с помощью потенциометра  $R_5$ . В качестве запоминающего конденсатора следует выбирать конденсатор с малым коэффициентом абсорбции и малыми утечками.

Схема описываемого АЗУ в диапазоне температур от  $+20$  до  $+60^\circ\text{C}$  имела следующие параметры: погрешность по постоянному току 3 мВ; время хранения 0,3 мс; диапазон входного сигнала  $\pm 1$  В; время выборки 10 мкс; допустимая скорость изменения входного напряжения 0,2 В/мкс; входное сопротивление 100 кОм.