

По описанной схеме рис. 4 был изготовлен макет цифрового амплитудного вольтметра, предназначенного для измерения амплитудных значений переменных и импульсных напряжений в диапазоне звуковых частот, а также напряжений постоянного тока. При измерении переменных и импульсных напряжений работа вольтметра синхронизируется измеряемым напряжением. Цикл измерения составляет четыре периода или импульса во всем диапазоне частот. Возможно выборочное измерение амплитудных значений указанных напряжений, например, через определенное число периодов или импульсов или по команде в определенные моменты времени. При измерении постоянных напряжений быстродействие составляет $5 \cdot 10^3$ *изм/сек.* Приведенная погрешность измерения $\pm 0,2\% \pm 1$ зн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шляндин В. М., Ломтев Е. А., Жадаев А. А. О возможности измерения амплитуд переменных напряжений методом прямого уравнивания. «Информационно-измерительная техника», вып. 4, ППИ, Пенза, 1969.

**А. И. ВОРОЖЕЙКИН, В. С. ГРУБНИК
И. Р. ДОБРОВИНСКИЙ, Е. А. ЛОМТЕВ**

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ В ЧАСТОТУ

Цифровые вольтметры параллельно-последовательного (прямого) во времени уравнивания (ЦВПУ) обладают рядом преимуществ по сравнению с приборами последовательного во времени уравнивания [1].

Основной узел ЦВПУ — анализатор, содержащий ряд пороговых элементов, реагирующих в общем случае на один из таких признаков, как амплитуда, фаза, частота или длительность преобразованного входного сигнала. Поэтому в зависимости от типа используемого анализатора необходим преобразователь входной величины в соответствующую физическую величину.

Из возможных вариантов построения ЦВПУ значительный интерес представляют вопросы разработки вольтметров параллельно-последовательного уравнивания с промежуточным преобразованием напряжения в частоту. Это несколько повышает помехозащищенность прибора как от внешних импульсных помех (за счет избирательности контуров частотных элементов), так и внутренних наводок (за счет интегрирующих

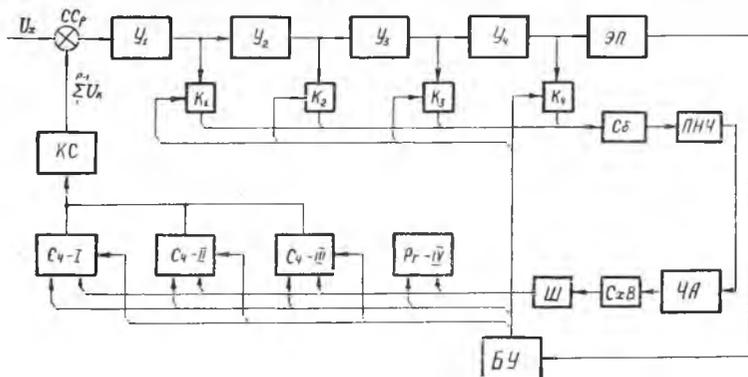
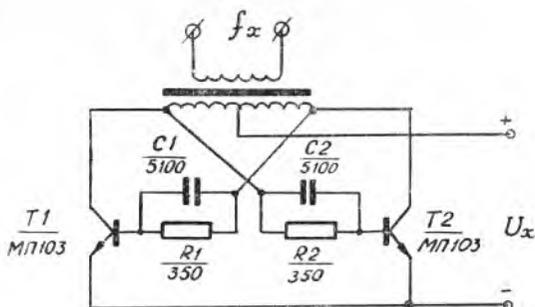


Рис. 1. Функциональная схема ЦВПУ с промежуточным преобразователем напряжение—частота:

ССр — схема сравнения; $У_1, У_2, У_3, У_4$; $К_1, К_2, К_3, К_4$ — усилители и ключи переменного тока соответствующих разрядов оценки измеряемого напряжения U ; Сб — схема собирания сигналов; ПНЧ — преобразователь напряжение—частота; ЧА — частотный анализатор; СхВ — схема выделения старшего из сработавших элементов; Ш — шифратор; СчI, СчII, СчIII — счетчики соответствующих разрядов; РгIV — запоминающие регистры четвертого разряда; КС — компенсационная схема; ЭП — элементы поправки; БУ — блок управления

свойств самого преобразователя напряжения в частоту). Такой быстродействующий ЦВПУ был разработан в Пензенском политехническом институте.

В вольтметре для упрощения конструкции используется один усилитель с дискретно переключаемым коэффициентом передачи, один ПНЧ и один частотный анализатор на все разряды отсчета. Блок-схема прибора приведена на рис. 1. Вольтметр работает следующим образом: измеряемое напряжение U_x подается через схему сравнения ССр на цепочку усилителей $У_1 \div У_4$, к выходам которых подключены соответствующие ключи $К_1—К_4$, управляемые сигналами с выхода блока управления. При оценке первого разряда U_x открыт ключ $К_1$, и входное напряжение через схему собирания Сб поступает на преобразователь напряжение — частота, преобразующий амплитуду измеряемого напряжения U_x в соответствующую частоту f_x . Напряжение частотой f_x подается на частотный анализатор, содержащий пять частотных элементов (в вольтметре используется многократная система поправок [2]). В анализаторе срабатывает тот частотный элемент, резонансная частота которого f_1 близка к измеряемой частоте f_x . Возможно одновременное срабатывание двух соседних частотных элементов. Поэтому к выходу частотного анализатора подключена схема выделения старшего из сработавших. Сигнал с выхода данной схемы преобразуется шифратором в двоично-десятичный код, равный индексу сработавшего частотного элемента, который по



Р и с. 2. Принципиальная схема преобразователя напряжения в частоту

команде блока управления заносится параллельно в счетчик старшего разряда СчI. В соответствии с числом, записанным в СчI, компенсационная схема выдает напряжение $U_{к1}$ на схему сравнения. Затем проверяется знак разности $U_x - U_{к1}$ и в случае перекомпенсации ($U_x < U_{к1}$) элемент поправки корректирует ошибку измерения в СчI до тех пор, пока она не будет устранена.

Аналогично производится оценка и коррекция ошибки в последующих разрядах оценки измеряемой величины: блок управления последовательно открывает ключи K_2 , K_3 и разрешает запись информации с ЧА и коррекцию ошибки в соответствующих разрядах СчII и СчIII. Четвертый разряд является оценочным. Поэтому при оценке величины U_x компенсирующее напряжение не вводится и, соответственно, отсутствует коррекция ошибки измерения этого разряда.

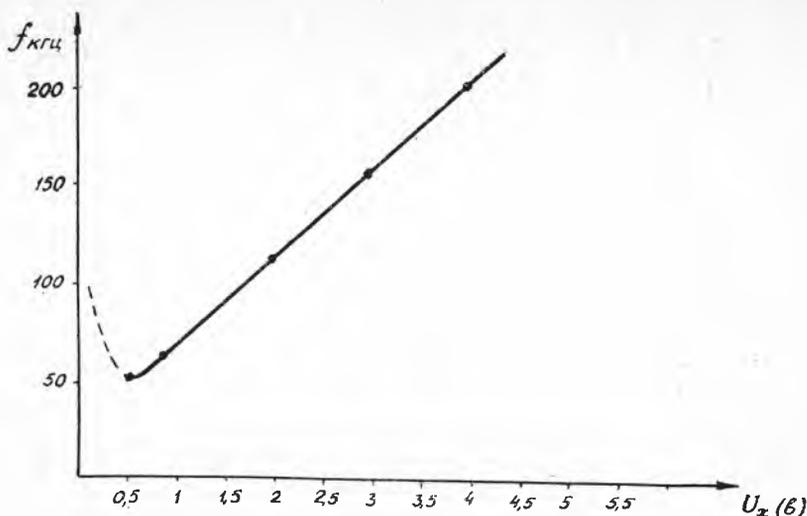
Разработанный прибор имеет следующие технические характеристики:

пределы измерения	0—1 в; 10 в;
быстродействие	1000 изм/сек;
статическая погрешность измерения	$\pm 0,1\%$;
входное сопротивление	100 ком;
четырёхразрядный десятичный отсчет на лампах ИН-1.	

Наиболее важным узлом ЦВПУ является преобразователь напряжение — частота, принципиальная схема которого приведена на рис. 2. Работа его основана на интегрировании входного сигнала путем намагничивания до насыщения пермаллового сердечника. Частота преобразования определяется следующим выражением [3]:

$$f = \frac{U_x}{4W_k B_m Q_c \cdot 10^{-8}}, \quad (1)$$

где f — частота, гц; B_m — индукция насыщения сердечника; Q_c — сечение сердечника, см²; W_k — число витков обмотки.



Р и с. 3. Выходная характеристика ПНЧ

Из данного выражения видно, что частота преобразования пропорциональна величине входного напряжения U_x . Результаты экспериментальных исследований зависимости частоты преобразования ПНЧ от входного напряжения $f = \varphi(U_x)$ приведены на рис. 3 и показывают, что преобразователь обладает высокой линейностью в диапазоне входных напряжений $U_x = 0,5 \div 5$ в и частот $f = 50 - 250$ кГц. Линейный участок выходной характеристики ПНЧ определяет рабочий диапазон частотного анализатора и позволяет вычислить коэффициенты передачи основных узлов прибора. Принципиальная схема частотного элемента изображена на рис. 4. Входным устройством частотных элементов являются резонансные контуры, каждый из которых настроен на свою резонансную частоту, определяемую следующим выражением:

$$f_i = f_0 + (mi - \beta) \Delta f + (m - 1) \Delta f. \quad (2)$$

Здесь f_i — резонансная частота i -го элемента анализатора; f_0 — начальная частота диапазона линейности преобразователя; m — кратность поправки (в описываемом приборе $m = 2$, так как анализатор содержит 5 элементов, а основание используемой в ЦВПУ — системы счисления — 10); i — номер порогового элемента ($i = 1, 2, \dots, 5$); β — сдвиг порога частотного элемента. Оптимальная величина сдвига $\beta = 0,5$ [4]; Δf — единица дискретности частотного анализатора.

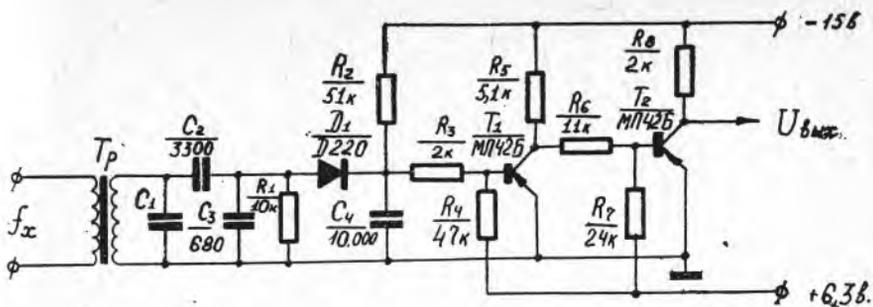


Рис. 4. Принципиальная схема частотного элемента

При использовании однократной системы поправок ($m=1$) выражение (2) преобразуется в известную формулу [4]

$$f_i = f_0 + (i - \beta) \Delta f.$$

Для двукратной системы поправок ($m=2$)

$$f_i = f_0 + [2i - (1 + \beta)] \Delta f.$$

Использование системы поправок в вольтметрах параллельно-последовательного уравнивания позволяет резко уменьшить требования к стабильности коэффициентов переда-

$$\begin{aligned} & \delta U_x \geq \delta K_{вд} + \delta U_R \left| \frac{1}{1 + \frac{f_i - f_0}{\sum_1^{p-1} U_k K_{ур} K_{пнч}}} \right| + \\ & + \delta f_i \left| \frac{1}{1 + \frac{\sum_1^{p-1} U_k K_{ур} K_{пнч} - f_0}{f_i}} \right| + \delta f_0 \left| \frac{1}{1 + \frac{\sum_1^{p-1} U_k K_{ур} K_{пнч} + f_i}{f_0}} \right| + \\ & + \delta K_{ур} \left| \frac{1}{1 + \frac{\sum_1^{p-1} U_k K_{ур} K_{пнч}}{f_i - f_0}} \right| + \delta K_{пнч} \left| \frac{1}{1 + \frac{\sum_1^{p-1} U_k K_{ур} K_{пнч}}{f_i - f_0}} \right| \end{aligned}$$

Рис. 5. Структурная схема вольтметра

чи основных узлов прибора. Определим требования к узлам вольтметра с промежуточным преобразователем напряжение — частота, общее выражение статической погрешности для которого может быть получено из его структурной схемы (рис. 5) аналогично, как в ЦВПУ с амплитудным анализатором.

Здесь коэффициенты передачи отдельных звеньев: $K_{вд}$ — входного делителя; $K_{у.р}$ — усилителя при оценке p -го разряда измеряемой величины (p — текущее значение разряда, $p=1, 2, \dots$); $K_{пнч}$ — преобразователя напряжение — частота; $\sum_{p-1}^1 U_k$ — компенсирующее на-

пряжение, введенное в $p-1$ — старших разрядах оценки, а $\delta K_{вд}$; $\delta K_{у.р}$; $\delta K_{пнч}$; δU_k ; δf_i и δf_0 — соответствующие им относительные погрешности, определяемые как $\delta K_{вд} = \frac{\Delta K_{вд}}{K_{вд}}$ и т. д.

Данное выражение позволяет определить требования к стабильности коэффициентов передачи основных блоков прибора при известных коэффициентах передачи отдельных узлов. Так, исходя из заданной точности прибора 0,1%, предела измерения 1 в и диапазона линейности преобразователя напряжения — частота — 250 кГц имеем $K_{пнч} = \frac{250}{5} = 50 \frac{\text{кГц}}{\text{в}}$;

$f_0 = 50 \text{ кГц}$; коэффициент передачи усилителя при оценке четвертого разряда измеряемой величины $K_{у.р} = \frac{5}{0,001} = 5000$ и единица дискретности частотного анализатора

$$\Delta f = \frac{250 - 50}{10} = 20 \text{ кГц.}$$

Так как общая приведенная погрешность измерения прибора равна 0,1%, то при погрешности дискретности $\sigma(D) = 0,02\%$ (анализатор содержит только пять частотных элементов) схемная погрешность измерения не должна превышать 0,08% общей шкалы прибора. Опыт проектирования быстродействующих цифровых вольтметров показывает, что практически относительно несложно разработать компенсационные схемы с относительной погрешностью 0,04%. Если разделить оставшуюся часть общей погрешности на составляющие следующим образом: погрешность от нестабильности резонансной частоты пятого элемента и начальной частоты управляемого генератора 0,002% и 0,0005% соответственно, погрешность от нестабильности коэффициентов передачи усилителя при оценке четвертого разряда отсчета и управляемого генератора по 0,0015%, то на долю входного делителя остается погрешность 0,0346%. Разделив эти величины на соответствующие коэффициенты, определяемые выражением (3), получим требования к основным функциональным элементам и узлам прибора. Из табл. 1 видно, что требования эти сравнительно невелики, что позволило использовать несложную схему преобразователя на-

$\delta K_{вд}$	$\delta K_{уlv}$	$\delta K_{пн4}$	δf_5	δf_0	δU_k	δ (Д)
0,0345%	2,16%	2,16%	1,7%	2,4%	0,04%	0,02%

пряжение—частота (рис. 2), простые схемы частотных элементов (рис. 4) и усилитель для разработанного вольтметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев Г. М. Вопросы проектирования цифровых вольтметров прямого уравнивания. Ученые записки Пензенского политехнического института. «Электроизмерительная техника», вып. 2. Пенза, Приволжское книжное изд-во, 1964.
2. Шляндин В. М., Ломтев Е. А. Некоторые вопросы проектирования следящих цифровых вольтметров прямого уравнивания. Ученые записки. «Информационно-измерительная техника», вып. 4, Пенза, 1969.
3. Расчет схем на транзисторах. Перевод с англ. Изд. «Энергия». 1969.
4. Добровинский И. Р., Ломтев Е. А., Шляндин В. М. К вопросу оценки погрешности цифровых вольтметров прямого уравнивания. «Автоматрия», № 2, 1968.

Г. В. АБРАМОВ, А. И. МАХОВ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ФАЗОМЕТР

Ультразвуковой фазометр предназначен для определения формы фазового фронта ультразвуковых волн в жидкости в диапазоне 1—5 мГц, [1—4]. На рис. 1 приведена функциональная схема фазометра. Он состоит из датчика ультразвуковых колебаний 1, усилителей 2, детекторов 3, нуля-органа 4, дифференциального усилителя 5, реверсивного двигателя 6, редуктора 7, преобразователя «угол-цифра» 8, реверсивного счетчика 9, перфоратора 10, датчика интервалов 11.

Датчик 1 состоит из двух приемников ультразвука. Каждый приемник представляет собой плоскую пьезопластинку с острой диаграммой направленности, размеры которой определяются выбранным диапазоном частот, а также степенью кривизны фронта. Например, для измерения формы фронта квазиплоского ультразвукового поля в воде в диапазоне волн 1—5 мГц применяется пьезопластинка размерами 10×1×1 мм.

Диаграмма направленности ее описывается формулой [5]

$$\bar{U} = U_0 \frac{\sin kal}{kal},$$