Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVI, вып. 1. 1968 г.

УДК 621.314.252

СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФАЗА — НАПРЯЖЕНИЕ И ФАЗА — ЦИФРА ДЛЯ ФАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ

Э. А. Кальм

В настоящее время в качестве выходного параметра электродных датчиков, применяемых при процессах обогащения полезных ископаемых, используется либо электрическое сопротивление (проводимость), либо величина емкости. На основе теоретических исследований Е. С. Кричевского и А. И. Нудельмана (Ленинградский горный институт) возможно создание специальных схем, позволяющих преобразовывать значение сопротивления или емкости в электродных чувствительных устройствах в фазовый угол между током в измерительной цепи и напряжением, питающим это устройство.

Исходные данные для выбора частоты напряжения, питающего преобразовательный элемент: 1) обеспечение максимальных изменений выходного параметра при изменении исследуемого свойства материала в заданных пределах и минимальных при побочных изменениях других (не интересующих нас) свойств; 2) получение линейной зависимости выходного параметра от изменения исследуемого свойства.

Таким образом, частота напряжения, питающего датчик, может быть различной (от десятков герц до нескольких мегагерц) в зависимости от электрофизических свойств исследуемого материала. Например, оптимальная частота для определения влажности нефелинового концентрата равна 0,5—1,0 *Мгц*.

На звуковых и повышенных частотах целесообразней применять электронные фазометры. В этом случае: 1) фазовым демодулятором фаза преобразуется в напряжение или ток, которые затем отсчитываются по шкале стрелочного магнитоэлектрического прибора; 2) счетчиками импульсов или другими устройствами фаза преобразуется в числовой код, который воспроизводится на цифровом табло либо используется для автоматической обработки данных вычислительными машинами.

Для измерения фазы в узких пределах 0—(5—20)° могут применяться суммарно-разностные фазометры. При измерении фазы в пределах 0—180° высокую точность могут обеспечить фазометры с управляемым выпрямителем на точечных германиевых диодах, работающих в ключевом режиме. Выпрямитель управляется контрольным напряжением прямоугольной формы, которое подается с выхода двустороннего усилителя-ограничителя. Напряжение сигнала, сдвинутое по фазе относительно контрольного на измеряемый угол φ, тоже ограничивается другим двусторонним усилителем-ограничителем и переворачивается по фазе на 180° в инверторе. Таким образом, на вход управляемого выпрямителя поступают два ограниченных парафазных напряжения сигнала, сдвинутых относительно контрольного на углы соответственно φ и $(\varphi - 180°)$. Ток (напряжение) на выходе управляемого выпрямителя пропорционален сдвигу фаз между напряжениями сигнала и контрольным.

Бестрансформаторная кольцевая схема может использоваться в качестве управляемого выпрямителя [Агаханян, 1966].

Поскольку уровни напряжения и тока в электродном датчике с фазовым выходом остаются практически постоянными, возможно применение двусторонних усилителей-ограничителей. Наиболее удачна схема двухтактного усилителя-ограничителя [Соболевский, 1958].

Двухполярный триггерный фазометр может быть использован в качестве фазоизмерительного устройства (рис. 1). Эта схема состоит из двух триггеров, на входы которых поступают импульсы, укорачиваемые специальными цепями. Положительный импульс, полученный после дифференцирования напряжения U_1, и отрицательный от напряжения U_2 поступают на вход

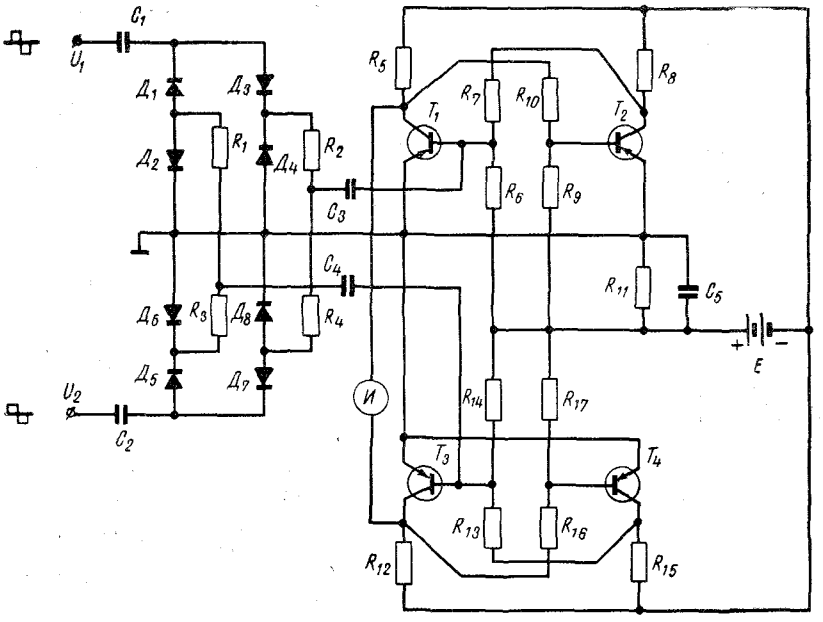


Рис. 1. Двухполярный триггерный фазометр.

одного триггера и управляют его выходным током. Два других импульса управляют током второго триггера. Измеритель *И* включен так, что токи триггеров проходят через него в разных направлениях, и он фиксирует среднее значение разности выходных токов.

Средний ток I_1 первого триггера равен:

$$I_1 = I_{1m}\left(1 - \frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2\pi} - \frac{\varphi}{2\pi}\right), \qquad (1)$$

где φ — измеряемый сдвиг фаз, *рад*; $2\Theta_1$ и $2\Theta_2$ — длительности положительных полуволн прямоугольных колебаний U_1 и U_2, *рад*; I_{1m} — амплитуда импульса тока, *ма*.

Средний ток I_2 второго триггера равен:

$$I_2 = I_{2m}\left(1 - \frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2\pi} + \frac{\varphi}{2\pi}\right). \qquad (2)$$

При $I_{1m} = I_{2m} = I_m$ среднее значение разности токов триггеров составит:

$$I_0 = I_m \frac{\varphi}{\pi}. \qquad (3)$$

Выражение (3) показывает, что выходной ток не зависит от асимметрии ограничения, а шкала измерителя получается линейной, если использовать магнитоэлектрический прибор, что повышает точность измерений.

Фазометр с индикацией угла сдвига в цифровой форме имеет свои преимущества: высокая точность, пригодность результатов для дальнейшей обработки в цифровых вычислительных машинах, автоматизация отсчета и возможность дистанционной передачи информации.

В настоящее время известно несколько реализаций цифровых фазометров. Однако большинство из них работает в узких диапазонах частот. Наиболее удачен цифровой фазометр, в основе которого лежит преобразование временного сдвига между исследуемыми напряжениями в пропорциональное число электрических импульсов [Кузнецкий, Стуков, 1964]. В этом

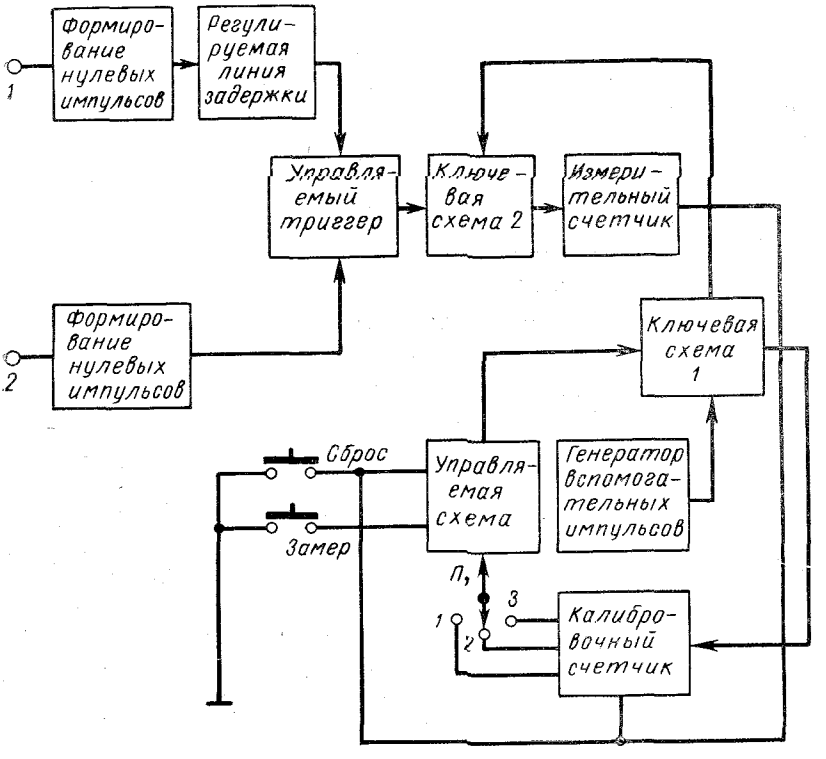


Рис. 2. Упрощенная блок-схема цифрового фазометра.

фазометре на входы *1* и *2* (рис. 2) подаются сравниваемые по фазе синусоидальные напряжения. Устройства формирования нулевых импульсов выдают электрические импульсы в моменты перехода сигнала через ноль в положительном направлении.

Их формирование происходит многократным ограничением и усилением с последующим дифференцированием. Для компенсации систематических ошибок, возникающих в тракте формирования нулевых импульсов за счет неодинаковых уровней ограничения и усиления, а также неравенства переднего и заднего фронтов управляемого триггера и ключевой схемы, в один из каналов включается регулируемая линия задержки. Процесс компенсации систематической ошибки производится подачей на оба входа одного и того же сигнала. При этом регулируемой линией задержки добиваются на цифровом индикаторе отсчета 0° с необходимой точностью, после чего сравниваемые по фазе напряжения подключают на входы *1* и *2*.

Нулевые импульсы запускают управляемый триггер, имеющий раздельные входы. Он вырабатывает прямоугольные импульсы (стробы),

длительность которых пропорциональна разности фаз. Эти стробы отпирают ключевую схему *2*, через которую от генератора вспомогательных коротких импульсов в ключевую схему *1* пропускаются пачки импульсов на измерительный счетчик. Таким образом, количество коротких импульсов, поступающих на счетчик, пропорционально длительности строба. Для осуществления процесса усреднения в блок-схему введен калибровочный счетчик. Он подключен через ключевую схему *1* к выходу генератора вспомогательных импульсов и задает время измерения набором определенного числа вспомогательных импульсов, которое зависит от времени усреднения, выбираемого переключателем $П_1$. В устройстве использован переключатель на три положения *1*, *2*, *3* (рис. 2).

Измерительный счетчик запускается одновременно с калибровочным кнопкой «замер» и просчитывает число импульсов в пачках за выбранный переключателем $П_1$ интервал времени. После набора заданного количества импульсов вспомогательный счетчик вырабатывает сигнал, запирающий через управляемую схему ключевую схему *1*. Подача вспомогательных импульсов на счетчики прекращается. По показаниям обоих счетчиков можно судить об измеряемом сдвиге фаз:

$$\varphi_{изм} = K \frac{N_\varphi}{N_0},$$

где K — постоянный коэффициент; N_0 и N_φ — число импульсов, сосчитанных соответственно калибровочным и измерительным счетчиками.

Для $\Delta\varphi = 360°$ необходимо, чтобы число импульсов N_0 было кратно $360 \cdot 10^n$, где $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$

ЛИТЕРАТУРА

Агаханян Т. М. Электронные ключи и нелинейные импульсные усилители. Сов. радио, 1966.

Кузнецкий С. С., Стуков Л. Н. Цифровой фазометр — частотомер-счетчик. Тр. конф. по автом. контролю и методам электр. измерений. Изд. СО АН СССР, 1964.

Соболевский А. Г. Импульсная техника. Госэнергоиздат, 1958.