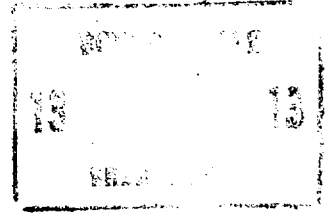




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

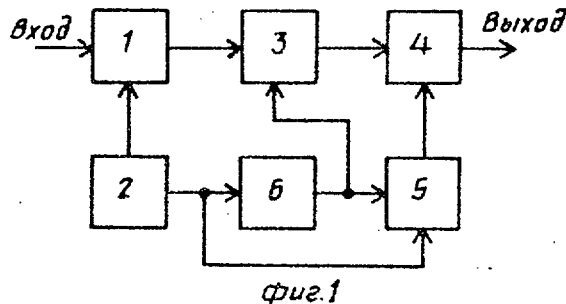
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3828088/24-21
- (22) 21.12.84
- (46) 15.09.86. Бюл. № 34
- (71) Минский радиотехнический институт
- (72) В.В.Кандыбин, М.П.Федоринчик, Г.В.Барченко и Ф.Н.Никонович
- (53) 621.317.7(088.8)
- (56) Патент США № 3585487, кл. 324-120, 1971.

Авторское свидетельство СССР
№ 949528, кл. G 01 R 19/22, 31.12.80.
(54) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПОСТОЯННОЕ ПО УРОВНЮ СРЕДНЕВЫПРЯМЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ
(57) Изобретение относится к области электроизмерений и может быть

использовано в приборах для измерения средневыпрямленного значения переменного тока. Цель изобретения - повышение точности работы устройства. Преобразователь содержит компаратор 1 и ключи 3 и 5. Введение генератора 2 треугольного напряжения, суммирующе-фильтрующего блока 4 и формирователя 6 меандра позволяет за счет многократного компарирования входного напряжения с треугольным за период входного напряжения уменьшить погрешность, вызванную дрейфом нуля компаратора 1 и его задержкой переключения, что обеспечивает повышение точности преобразования не менее чем в 20 раз. 5 ил.



Изобретение относится к области электроизмерений и может быть использовано в приборах для измерения средневывпрямленного значения переменного напряжения.

Цель изобретения - повышение точности путем уменьшения влияния времени задержки компаратора на выходное напряжение.

На фиг. 1 приведена функциональная схема преобразователя; на фиг. 2 и 3 - временные диаграммы напряжений, поясняющие его работу; на фиг. 4 - функциональная схема генератора треугольного напряжения; на фиг. 5 - временные диаграммы напряжений, поясняющие его работу.

Преобразователь переменного напряжения в постоянное содержит компаратор 1, первый вход которого соединен с входной шиной, а второй - с основным выходом генератора 2 треугольного напряжения, первый ключ 3, управляющий вход которого соединен с выходом компаратора 1, выход - с первым входом суммирующе-фильтрующего блока 4, выход которого соединен с выходной шиной. Синхронизирующий выход генератора 2 треугольного напряжения соединен с управляющим входом второго ключа 5, выход которого подключен к второму входу суммирующе-фильтрующего элемента 4, и с входом формирователя 6 меандра, выход которого подключен к входам первого 3 и второго 5 ключей.

Генератор 2 треугольного напряжения содержит, например, генератор 7 тактовых импульсов, триггеры 8, 9 и 10, интегратор 11 и формирователь 12 (фиг. 4).

Преобразователь переменного напряжения в постоянное работает следующим образом.

Генератор 2 треугольного напряжения формирует треугольное двухполярное напряжение на основном выходе и прямоугольные импульсы на синхронизирующем выходе.

Генератор 7 импульсов генератора 2 треугольного напряжения формирует последовательность тактовых импульсов (фиг. 5а) с частотой $4/T_T$, где T_T - период треугольного напряжения. На выходах триггера 8, работающего в режиме делителя частоты на два, образуется прямая и инвертированная последовательности прямоугольных

импульсов (фиг. 5б, в). После повторного деления в триггере 9 (фиг. 5г) напряжение поступает на вход формирователя 12, который формирует двухполярное напряжение типа меандр (фиг. 5г). На выходе интегратора 11 формируется треугольное напряжение (фиг. 5д), поступающее на основной выход генератора 2 треугольного напряжения. Инвертированный сигнал с второго выхода триггера 8 поступает на триггер 10, на выходе которого образуется прямоугольное напряжение, синфазное и синхронное с треугольным (фиг. 5е), поступающее на синхронизирующий выход генератора 2 треугольного напряжения. Треугольное напряжение $U_T(t)$ (фиг. 2а) с основного выхода генератора 2 треугольного напряжения сравнивается компаратором 1 с входным напряжением $U(t)$. Выходной сигнал компаратора 1 управляет ключом 3 таким образом, что прямоугольное напряжение $U_n(t)$ выхода формирователя 6 меандра поступает на первый вход суммирующе-фильтрующего блока 4 при условии $U(t) > U_T(t)$ (заштрихованные импульсы на фиг. 2а). На второй вход суммирующе-фильтрующего блока 4 через ключ 5 проходят импульсы прямоугольного напряжения $U_n(t)$ при условии $U_n(t) > 0$ (фиг. 2б). Напряжения, поступающие на входы суммирующе-фильтрующего блока 4, усредняются, а затем суммируются, в результате чего на выходе преобразователя выделяется постоянное напряжение, пропорциональное средневывпрямленному значению входного сигнала, что можно показать математически.

Среднее напряжение, поступающее на первый вход суммирующе-фильтрующего блока 4 в режиме, когда период треугольного напряжения T_T значительно меньше периода T входного сигнала синусоидальной формы $U(t) = U_m \sin \omega t$, для положительной полуволны (фиг. 2а) равно

$$U_{ср T} = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{N-1} \left[U_i (\Delta t_i + \Delta t_i') - \frac{T_T U_i}{2} \right], \quad (1)$$

где $N = \frac{T}{2T_T}$;

U_i - амплитуда выходного напряжения формирователя 6 меандра.

Для определения Δt_i аппроксимируем кривую $U(t)$ на каждом i -м периоде треугольного напряжения отрезками прямых, проходящих через точки A_i и B_i с координатами:

$$A_i \left[iT_r + \hat{c}, U_m \sin \omega (iT_r + \hat{c}) \right];$$

$$B_i \left[iT_r + \hat{c} + \frac{T_r}{4}, U_m \sin \omega (iT_r + \hat{c} + \frac{T_r}{4}) \right].$$

Для i -го периода можно записать

$$U(t) = \frac{4(t - iT_r - \hat{c}) U_m \beta_+}{T_r} + U_m \sin(8i\alpha + \Delta),$$

$$\text{где } \beta_+ = \sin \omega \left(iT_r + \frac{T_r}{4} + \tau - \right.$$

$$\left. - \sin \omega (iT_r + \hat{c}) \right) = 2 \cos(4i\alpha + \alpha + \Delta) \times \sin \alpha;$$

$$\alpha = \frac{\hat{\pi} T_r}{4T},$$

$$\Delta = \frac{2\hat{\pi}}{T}.$$

Треугольное напряжение на i -м отрезке можно записать

$$U_T(t) = \frac{4(t - iT_r - \hat{c}) U_{\max}}{T_r},$$

где U_{\max} - амплитуда треугольного напряжения.

Из условия $U(t) = U_T(t)$ определяем

$$t_i = iT_r + \hat{c} + \frac{T_r}{4} \frac{U_m \sin(8i\alpha + \Delta)}{U_{\max} - U_m \beta_+}.$$

Тогда

$$\Delta t_i = \frac{T_r \gamma \sin(8i\alpha + \Delta)}{4(1 - \gamma \beta_+)},$$

$$\text{где } \gamma = \frac{U_m}{U_{\max}}.$$

Если за начальную точку отсчета принять точку B и отсчет времени вести влево, то

$$t'_i = iT_r + \hat{c}' + \frac{T_r}{4} \frac{U_m \sin(8i\alpha + \Delta')}{U_{\max} - I_m \beta'_+},$$

$$\text{где } \hat{c}' = \frac{T_r}{2} - \hat{c}_i;$$

$$\Delta' = 4\alpha - \Delta,$$

$$\beta'_+ = 2 \cos(8i\alpha + 5\alpha - \Delta).$$

При этом

$$\Delta t'_i = \frac{T_r \gamma \sin(8i\alpha + 4\alpha - \Delta)}{4(1 - \gamma \beta'_+)}.$$

Среднее напряжение за период положительной полуволны синусоиды

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{N-1} \left\{ \frac{U_i T_r \gamma}{4} \left[\frac{\sin(8i\alpha + \Delta)}{1 - \gamma \beta_+} + \frac{\sin(8i\alpha + 4\alpha - \Delta)}{1 - \gamma \beta'_+} \right] - \frac{U_i T_r}{2} \right\},$$

10 При $\Delta = 0$

$$U_{cp+} = \frac{U_i}{4} + \frac{U_i \gamma}{8N} \sum_{i=0}^{2N-1} \frac{\sin 4i\alpha}{1 - \gamma \beta}, \quad (2)$$

$$\text{где } \beta = 2 \cos(4i\alpha + \alpha) \sin \alpha.$$

15

Воспользовавшись соотношением

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots + x^n \quad (3)$$

20 и ограничив ряд двумя членами, можно записать

$$U_{cp+} = -\frac{U_i}{4} + \frac{U_i \gamma}{8N} \sum_{i=0}^{2N-1} \sin 4i\alpha \left[1 + 2\gamma \cos(4i\alpha + \alpha) \sin \alpha \right].$$

25

После преобразований получим

$$U_{cp+} = -\frac{U_i}{4} + \frac{U_i \gamma}{8N} \left[\sum_{i=0}^{2N} \sin 4i\alpha + \gamma + \sin \alpha \sum_{i=0}^{2N-1} \sin(8i\alpha + \alpha) - \gamma \sin^2 \alpha 2N \right].$$

30

Учитывая, что

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \sin 4i\alpha = \frac{\cos 2\alpha}{\sin 2\alpha} \approx \frac{1 - 2\alpha^2}{2\alpha - \frac{4}{3}\alpha^3},$$

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \sin(8i\alpha + \alpha) = 0.$$

40

После преобразования получим

$$U_{cp+} = -\frac{U_i}{4} + \frac{U_i \gamma}{2\hat{\pi}} \left(\frac{1 - \frac{\hat{\pi}^2}{32N^2}}{1 - \frac{\hat{\pi}^2}{96N^2}} \right) - \frac{U_i \gamma^2 \hat{\pi}^2}{512N^3}.$$

50

Используя выражение (3) и ограничив ряд двумя первыми членами после преобразований, получим

55

$$U_{cp+} = -\frac{U_i}{4} + \frac{U_i \gamma}{2\hat{\pi}} \left(1 - \frac{\hat{\pi}^2}{32N^2} + \frac{\hat{\pi}^2}{96N^2} + \frac{\hat{\pi}^4}{3072N^4} \right) - \frac{U_i \gamma^2 \hat{\pi}^2}{512N^3}.$$

Отбросив члены второго порядка малости получим

$$U_{cp+} \approx -\frac{U_r}{4} + \frac{U_r \gamma}{2\sqrt{\eta}} - \frac{U_r \gamma \hat{\alpha}}{128N^2}$$

Рассмотрим отрицательную полуволну синусоиды.

Если за начальную точку отсчета принять точку С и отсчет времени вести влево, t_j определяется аналогично, как и для потенциальной полуволны, только знак напряжений $U(t)$ и $U_r(t)$ заменяется на противоположный и $\hat{\alpha}' = -\hat{\alpha}$.

Тогда

$$t_j = jT_r - \hat{\alpha} + \frac{T_r}{4} \frac{\gamma \sin(8i\alpha - \Delta)}{1 - \gamma\beta}$$

где $\beta = 2\cos(8i\alpha + \alpha - \Delta)\sin\alpha$.

Для определения t_j за начало отсчета выбирается точка В, отсчет времени вправо и

$$\hat{\alpha}' = \frac{T_r}{2} + \hat{\alpha}; t_j' = jT_r + \frac{T_r}{2} + \hat{\alpha} + \frac{T_r}{4} \frac{\gamma \sin(8i\alpha + 4\alpha + \Delta)}{1 - \gamma\beta'}$$

где $\beta' = 2\cos(8j\alpha + 5\alpha + \Delta)\sin\alpha$.

Среднее напряжение за период отрицательной полуволны синусоиды

$$U_{cp-} = -\frac{1}{T} \sum_{j=0}^{N-1} \left(\frac{U_1 T_r}{2} - \Delta t_j U_1 - \Delta t_j' U_1 \right) \quad (4)$$

Подставив значения Δt_j и $\Delta t_j'$ при условии, что $\hat{\alpha} = 0$

$$U_{cp-} = \frac{U_1}{4} + \frac{U_1 \gamma}{8N} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\sin 4i\alpha}{1 - \gamma\beta}$$

Значение U_{cp-} определяется таким же выражением, как и для положительной полярности (2) синусоиды, тогда среднее напряжение, поступающее на первый вход суммирующе-фильтрующего блока 4, равно

$$U_{cp1} = U_{cp+} + U_{cp-} = -\frac{U_1}{2} + \frac{U_1 \gamma}{8N} - \frac{U_1 \gamma}{64N^2}$$

Среднее на выходе второго ключа 3

$$U_{cp2} = \frac{U_1}{2}$$

Напряжение на выходе устройства

$$U_{вых} = U_{cp1} + U_{cp2} = \frac{U_1 U}{2U_{max}} (1 + \delta)$$

где $\delta = \frac{\gamma^2}{32N^2}$,

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt,$$

5 средневыврявленное значение синусоидального сигнала.

Таким образом, на входе преобразователя получается напряжение, пропорциональное средневыврявленному значению входного сигнала с определенной погрешностью. Погрешность δ

с ростом отношения $\frac{T}{T_r}$ резко убывает, как при $T = 10T_r$, $\delta = 1,2\%$.

15 Рассмотрим режим, когда $T \ll T_r$ (фиг. 3). Усредняется часть прямоугольного напряжения $U_n(t)$, когда выполняется условие $U(t) > U_r(t)$.

20 Рассмотрим период времени, когда треугольное напряжение возрастает и положительно

$$U_r(t) = \frac{4U_{max}}{T}$$

25 Заменяем возрастающее треугольное напряжение отрезками прямых, параллельных оси времени в моменты

$$t_i = \frac{4i+1}{4} T,$$

30 тогда

$$U_r(t) = \frac{4U_{max} T}{T_r} \frac{4i+1}{4}$$

Среднее напряжение на первом входе суммирующе-фильтрующего блока, когда $U(t) > 0$ и возрастает, равно

$$35 U_{cp+}' = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{N-1} 2U_1 \left(\frac{T}{4} - \Delta t_i \right),$$

где $N \approx T_r U_m / TU_{max}$ при $T \ll T_r$.

40 Исходя из равенства $U(t) = U_r(t)$, определяем Δt_i

$$U_m \sin \frac{2\hat{\alpha}}{T} \Delta t_i = \frac{4U_{max} T}{T_r} \frac{4i+1}{4}$$

или

$$\Delta t_i = \frac{T}{2\hat{\alpha}} \arcsin \frac{4U_{max} T}{T_r U_m} \frac{4i+1}{4} =$$

$$= \frac{T}{2\hat{\alpha}} \arcsin \frac{4i+1}{4N}$$

50

Тогда

$$U_{cp+}' = \frac{2U_1 T}{T_r} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2\hat{\alpha}} \arcsin \frac{4i+1}{4N} \right) =$$

$$55 = \frac{U_1 T}{2T_r} \sum_{i=0}^{N-1} \left(1 - \frac{2}{\hat{\alpha}} \arcsin \frac{4i+1}{4N} \right)$$

Аналогично, когда $U_r(t) > 0$, но убывает

$$U_{cp+}^u = \frac{U_1 T}{2T_T} \sum_{i=0}^{N-1} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{4i+3}{4N}\right)$$

Когда $U_T(t) < 0$ и возрастает

$$U_{cp-}^i = \frac{1}{T} \left[\frac{U_1 T_T}{4} - \sum_{i=0}^{N-1} 2U_V \left(\frac{T_T}{4} - \Delta t_i \right) \right]$$

После преобразований получим

$$U_{cp}^i = -\frac{U_1}{4} + \frac{U_1 T}{2T_T} \sum_{i=0}^{N-1} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{4i+1}{4N}\right),$$

где $U_T(t) < 0$ и убывает

$$U_{cp}^u = -\frac{U_1}{4} + \frac{U_1 T}{2T_T} \times \sum_{i=0}^{N-1} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{4i+3}{4N}\right),$$

Усредненное напряжение, которое поступает на первый вход суммирующе-фильтрующего блока

$$U_{cp} = U_{cp+}^i + U_{cp+}^u + U_{cp-}^i = -\frac{U_1}{2} + \frac{U_1 T}{T_T} \sum_{i=0}^{2N-1} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{2i+1}{4N}\right).$$

После преобразований получаем, учитывая, что

$$U_{cp} = -\frac{U_1}{2} + \frac{U_1 U_m}{2U_{\max}} - \frac{2U_1 T}{T_T \pi} \times \sum_{i=0}^{2N-1} \arcsin \frac{2i+1}{4N},$$

напряжение на выходе устройства

$$U_{вых} = \frac{U_1 U_m}{2U_{\max}} - \frac{U_1 U_m}{2\pi N U_{\max}} \times \sum_{i=0}^{2N-1} \Delta x_i \arcsin x_i.$$

При $N \rightarrow \infty$

$$U_{вых} = \frac{U_1 U_m}{2U_{\max}} - \frac{U_1 U_m}{\pi U_{\max}} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{2N-1} \Delta x_i \arcsin x_i,$$

где $x_i = \frac{2i+1}{N}$;

$$\Delta x_i = \frac{1}{2N}.$$

Так как

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{2N-1} \Delta x_i \arcsin x_i = \int_0^1 \arcsin x dx = \frac{\pi}{2} - 1,$$

то

$$U_{вых} = \frac{U_1 U_m}{\pi U_{\max}} \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + \frac{U_m U_1}{2U_{\max}} =$$

Таким образом в режиме, когда $T_T \gg T$, обеспечивается точное преобразование входного синусоидального сигнала в постоянное напряжение по уровню средневыврямленного значения.

Исходя из выражений (1) и (4) напряжение на первом входе суммирующе-фильтрующего блока 4 с учетом времени задержки компаратора 1

$$U_{cp} = U_{cp+} + U_{cp-} = -\frac{U_1}{2} + \frac{U_1}{T} \left[\sum_{i=0}^{N-1} (\Delta t_i + t_3 + \Delta t'_i - t'_3) + \sum_{j=0}^{K-1} (\Delta t_j - t_3 + \Delta t'_j + t'_3) \right],$$

где t_3 - время задержки компаратора, когда происходит размыкание ключа, t'_3 - время задержки компаратора, когда происходит замыкание ключа

$$N = \frac{T}{T_T}.$$

$$K = \frac{T - T_1}{T_T}$$

где T_1 - период времени, когда входной сигнал положителен;

T - период входного переменного напряжения $U(t)$.

В общем случае $N \neq K$

После преобразований получим напряжение на выходе устройства.

$$U_{вых} = \frac{U_1}{T} \sum_{i=0}^{N-1} (\Delta t_i + \Delta t'_i) + \frac{U_1}{T} \sum_{j=0}^{K-1} (\Delta t_j + \Delta t'_j) + \frac{U_1}{T} [N(t_3 - t'_3) - K(t_3 - t'_3)].$$

Учитывая, что первое слагаемое представляет собой средневыврямленное значение положительной полуволны переменного напряжения с коэффициентом $U_1/2U_{\max}$, а второе - отрицательной полуволны

$$U_{вых} = \frac{U_1 U}{2U_{\max}} + \frac{U_1 (2T_1 - T)(t_3 - t'_3)}{TT_T}.$$

Таким образом, при равенстве $t_3 = t'_3$ погрешность от времени задержки компаратора равна нулю при любой форме сигнала. При неравенстве t_3 и t'_3 погрешность зависит от формы сигнала.

При $T_1 = \frac{T}{2}$ погрешность также равна нулю.

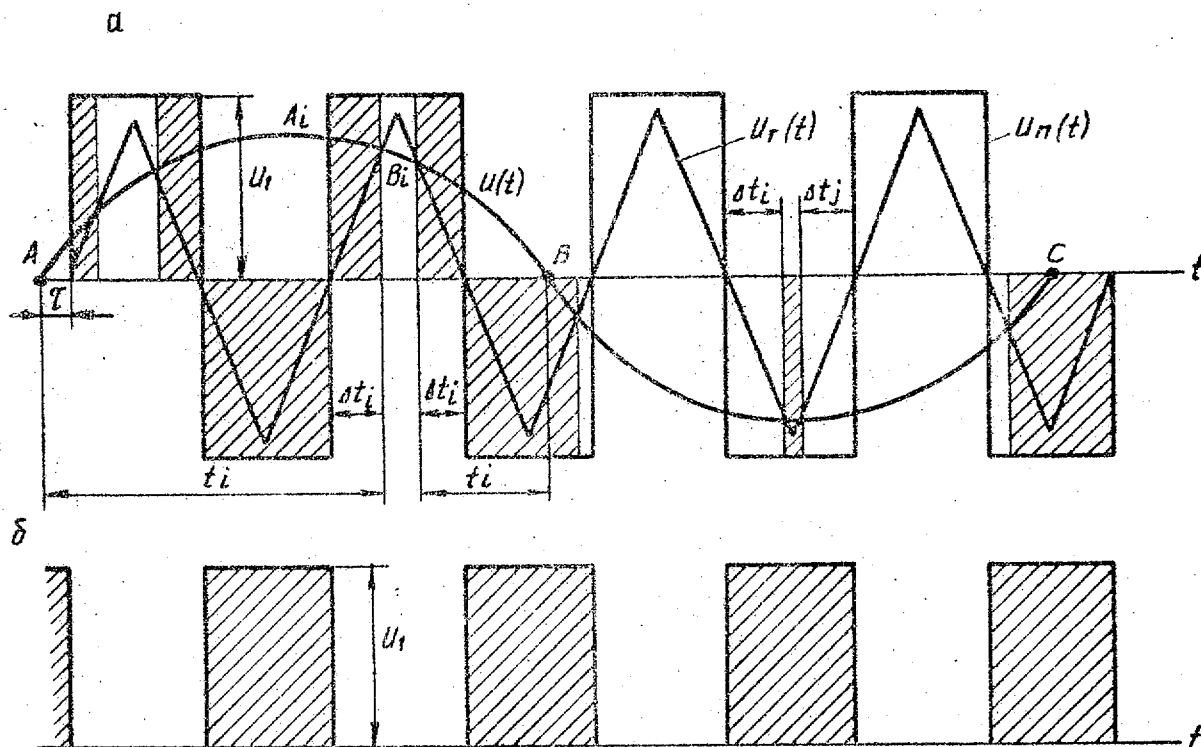
Сделанные выводы справедливы и для режима, когда $T \ll T_T$, что позволяет значительно расширить частотный диапазон входных сигналов преобразователя в области высоких частот.

Таким образом, отличия преобразователя позволяют за счет многократного компарирования входного напряжения с треугольным за период входного напряжения уменьшить погрешность, вызванную дрейфом нуля компаратора и его задержкой переключения, что обеспечивает повышение точности преобразования не менее чем в 20 раз.

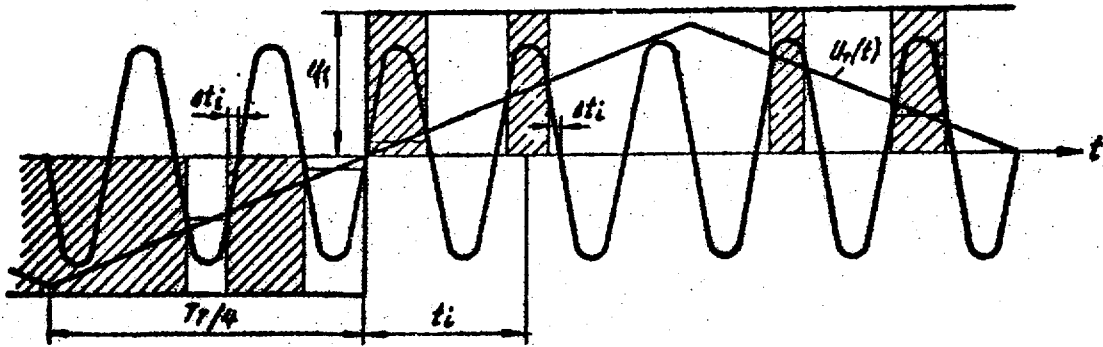
Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Преобразователь переменного напряжения в постоянное по уровню средневыпрямленного значения, содержащий компаратор, выход которого соединен с управляющим входом первого

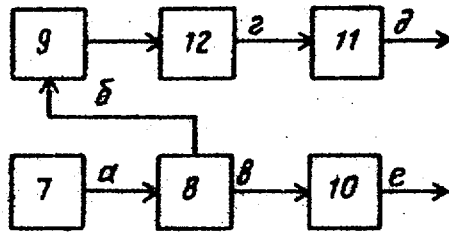
ключа, а первый вход - с входной шиной, и второй ключ, отличающийся с тем, что, с целью повышения точности, в него дополнительно введены формирователь меандра, суммирующе-фильтрующий блок и генератор треугольного напряжения, при этом основной выход генератора треугольного напряжения соединен с вторым входом компаратора, синхронизирующий выход генератора треугольного напряжения соединен с входом формирователя меандра и управляющим входом второго ключа, информационные входы первого и второго ключей соединены с выходом формирователя меандра, а выходы ключей - с входами суммирующе-фильтрующего блока, выход которого подключен к выходной шине.



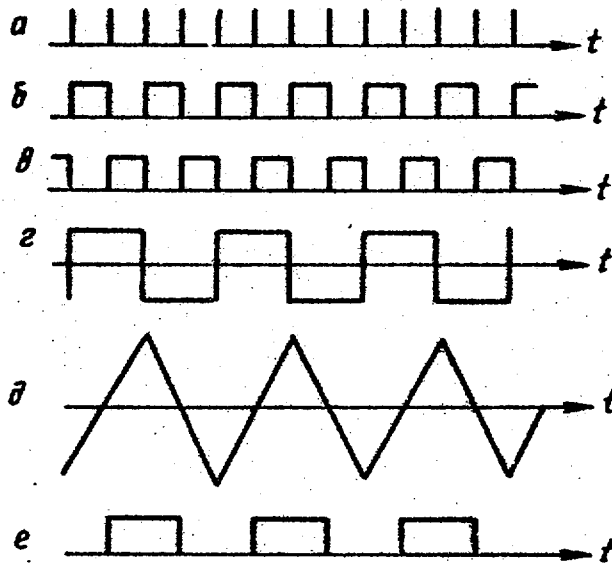
Фиг. 2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5

Редактор М.Петрова

Составитель А.Пучковский

Техред Л.Олейник

Корректор И.Муска

Заказ 4912/42

Тираж 728

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г.Ужгород, ул.Проектная, 4