

УДК 621.317.725

С. Ф. МАЛЕХАНОВА

ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ

Известным достоинством интегрирующих цифровых измерителей напряжения (ИЦВ) является их способность подавлять наложенные на полезный сигнал помехи без применения входных фильтров. При этом могут быть полностью подавлены гармонические помехи, если время интегрирования выбрать равным или кратным их периоду. Эта особенность определяет широкое применение ИЦВ в качестве основных элементов большинства различных автоматизированных комплексов контроля и управления.

При эксплуатации приборов в составе таких комплексов наиболее существенное влияние оказывают сетевые помехи [1]. При кратности времени интегрирования периоду сетевой помехи коэффициент подавления этой помехи $K_n \rightarrow \infty$. Однако при любом отклонении периода помехи от номинального значения коэффициент K_n резко падает, что приводит к появлению погрешности измерителя. Например, при изменениях частоты сети 50 Гц в пределах $\pm 1\%$ (по ГОСТу на радиоизмерительные приборы) коэффициент K_n падает до 40 дБ. Столь низкое значение K_n для приборов высокого класса точности, каковыми являются современные интегрирующие цифровые измерители напряжения, совершенно неприемлемо.

Коэффициент K_n с учётом преобладающего влияния в сетевой помехе первой гармоники [2] может быть записан в следующем виде:

$$K_n \approx 20 \lg \frac{\pi \xi}{|\sin \pi \xi \cdot \sin(\pi \xi + \varphi)|} \quad (1)$$

где $\xi = \frac{T_n}{T}$;

T_n — интервал интегрирования;

T — период помехи;

φ — фаза напряжения помехи в момент начала интегрирования.

Анализ выражения (1) показывает, что при любом ξ коэффициент K_n может иметь максимальное значение $K_n \rightarrow \infty$, если

$$\varphi = \varphi_{\text{опт}} = -\pi \xi \pm p\pi, \quad (2)$$

где $p = 0, 1, 2, \dots$

В статье рассматривается интегрирующий цифровой измеритель напряжения [3], в алгоритме работы которого реализуется выражение (2). Принцип работы измерителя заключается в том, что середина интервала интегрирования всегда автоматически совмещается с моментом времени, когда напряжение входной помехи имеет нулевое значение. Благодаря этому K_n сохраняется высоким при любом периоде помехи. Единственное ограничивающее условие состоит в том, что должно быть известно значение минимально возможного периода помехи $T_{\text{мин}}$.

Для помехи с таким периодом определяется временной сдвиг $T_{сдв мин}$, соответствующий $\varphi_{опт мин}$:

$$\varphi_{опт мин} = -\frac{\omega_{макс} T_n}{2} + p\pi = \omega_{макс} T_{сдв мин};$$

$$T_{сдв мин} = p \frac{T_{мин}}{2} - \frac{T_n}{2} = p \frac{T_{мин} - (T_{мин} + \Delta_n) \xi_n}{2},$$

где $\xi_n = \frac{T_n}{T_n}$; $p = 1 + \text{ent}[\xi_n]$; T_n — номинальный период помехи;

$\Delta_n = T_n - T_{мин}$.
Поскольку $p > \xi_n$, то всегда будет $T_{сдв мин} > 0$.
Цифровой эквивалент $T_{сдв мин}$

$$N_{сдв мин} = f_0 \left(p \frac{T_{мин}}{2} - \frac{T_n}{2} \right),$$

где f_0 — частота опорного генератора (ГОЧ) ИЦВ.
Для любой другой частоты помехи

$$N_{сдв} = f_0 \left(p \frac{T}{2} - \frac{T_n}{2} \right) = f_0 \left(p \frac{T_{мин} - T_n}{2} + p \frac{\Delta}{2} \right),$$

где $\Delta = T - T_{мин}$.

Следовательно, $pN_{\Delta} = N_{сдв} - N_{сдв мин} = p \left(f_0 \frac{T - T_{мин}}{2} \right)$ будет всегда

положительного знака ($pN_{\Delta} > 0$). Таким образом, для получения заданного K_n (в идеальном случае $K_n \rightarrow \infty$) во всем диапазоне изменения частоты помехи и при любом ξ падо определить N_{Δ} , а интегрирование начать после момента перехода напряжения входной помехи через нулевое значение спустя время

$$T_{зд} = \frac{1}{f_0} \left(N_{сдв мин} + pN_{\Delta} \right).$$

Рассмотрим работу ИЦВ при $p = 1$ ($T_n < T$). Блок-схема и временные диаграммы работы ИЦВ для этого случая приведены на рис. 1; 2.

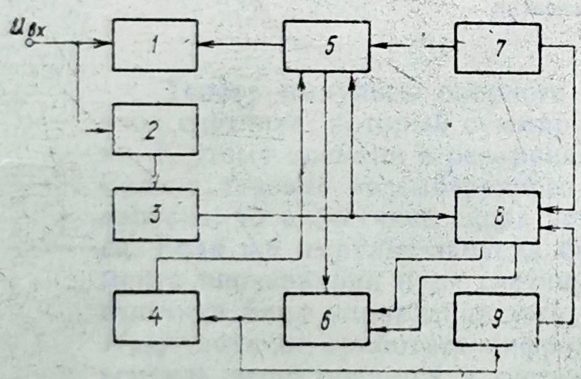


Рис. 1. Блок-схема ИЦВ:

- 1 — интегрирующий ПНК; 2 — блок выделения помехи; 3 — детектор нуля входной помехи; 4 — цифровой компаратор; 5 — блок управления; 6 — реверсивный счетчик; 7 — генератор опорной частоты; 8 — вентиль; 9 — схема опознавания нуля счетчика

Напряжение помехи u_n с выхода входного блока ИЦВ через блок выделения помехи БВП поступает на детектор, который вырабатывает импульсы в момент прохождения напряжения помехи через нулевой уровень. Эти импульсы поступают в блок управления ИЦВ, который выдает импульсы для установки в реверсивном счетчике числа $N_{мин}$ (соответствует $\frac{T_{мин}}{2}$). Одновременно тот же импульс нуля помехи переключает вентиль, и импульсы опорной частоты f_0 начинают поступать на вычитающий вход счетчика.

В мом
Устройство
дает в ук
положно

Телес
вход счет
хи. К это
Если в
запуска
ся. Если
момента
счетчик
 $N_{мин}$ по
вентиль
С этого
ла форм

срабат
чается,
импульс
торое зап
блок уп
рования
В мо
навливае
При
из которе
счетчик
ний и т
Рабо
няется в

В момент $t = \frac{T_{\text{мин}}}{2} = \frac{N_{\text{мин}}}{f_0}$ счетчик будет иметь нулевое состояние.

Устройство опознавания нуля счетчика, подключенное к его выходу, выдает в указанный момент импульс, переключающий вентиль в противоположное состояние.

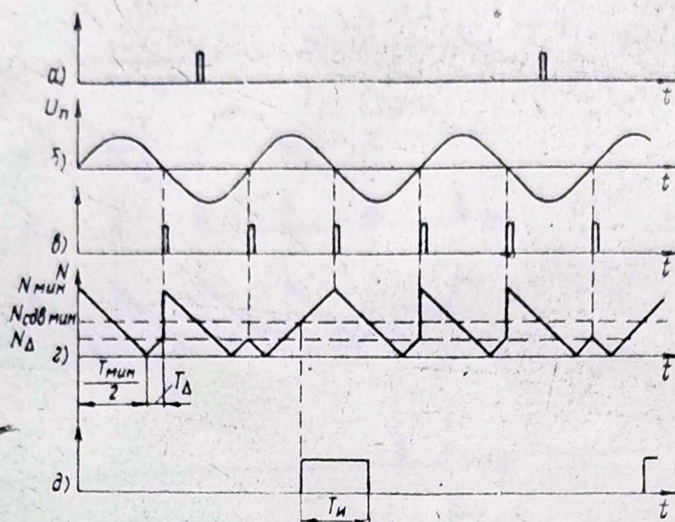


Рис. 2. Временные диаграммы работы ИЦВ при $P=1$:
 а — импульсы запуска; б — напряжение входной помехи; в — выходные импульсы детектора нуля входной помехи; г — диаграмма состояния реверсивного счетчика; д — строб-импульс, соответствующий интервалу интегрирования

Теперь импульсы опорного генератора поступают на суммирующий вход счетчика, который суммирует импульсы до следующего нуля помехи. К этому времени в реверсивном счетчике будет число импульсов N_{Δ} . Если в течение рассмотренного интервала времени не было импульса запуска, то в счетчике снова устанавливается $N_{\text{мин}}$ и цикл повторяется. Если же импульс запуска был, то цикл повторяется только до момента опознавания нуля счетчика. После импульса опознавания нуля счетчика блок управления уже не будет формировать импульс записи $N_{\text{мин}}$ пока не сработает цифровой компаратор. В момент нуля помехи вентиль переключается и счетчик устанавливается в режим вычитания. С этого момента начинает формироваться время задержки $T_{\text{зад}}$ начала формирования интервала интегрирования $T_{\text{и}}$. Через время $T_{\Delta} = \frac{N_{\Delta}}{f_0}$ срабатывает устройство опознавания нуля счетчика, вентиль переключается, счетчик становится в режим суммирования. Как только число импульсов, суммируемых в счетчике, достигнет величины $N_{\text{сдвмин}}$, которое записано в цифровом компараторе, последний выдает сигнал в блок управления для запуска схемы формирования интервала интегрирования.

В момент следующего импульса нуля помехи в счетчике вновь устанавливается число $N_{\text{мин}}$ и т. д. до следующего импульса запуска.

При любом $p > 1$ в ИЦВ дополнительно вводятся: блок памяти N_{Δ} , из которого импульсами опознавания нуля число N_{Δ} переписывается в счетчик $(p-1)$ раз; делитель этих импульсов на p ; три схемы совпадения и триггер.

Работа ИЦВ в этом случае аналогична описанному выше и поясняется временными диаграммами рис. 3. Задержка начала интегриро-

ния относительно нуля помехи теперь увеличена по сравнению с предыдущим случаем на время

$$\Delta T_{\text{заж}} = N_{\delta} (p - 1) \frac{1}{f_0}$$

1. Цанелко М. И. «Тех. вестн.», 1974.
2. Розенблат М. «Вольтметры».
3. Малехайова В. «Вольтметры».

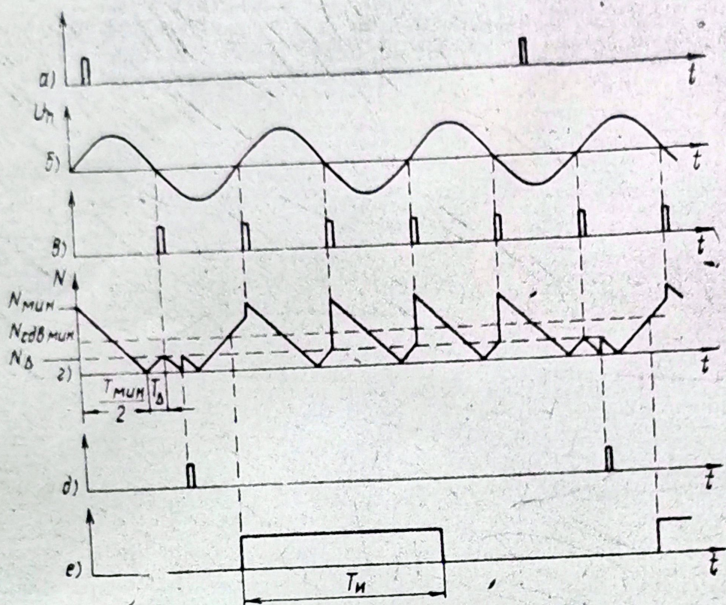


Рис. 3. Временные диаграммы работы ИЦВ при $P > 1$:
 а — импульсы запуска; б — напряжение входной помехи; в — выходные импульсы детектора нуля входной помехи; г — диаграмма состояния реверсивного счетчика; д — выходные импульсы делителя на P ; е — строб-импульс, соответствующий интервалу интегрирования

Блок выделения помехи в настоящей статье не рассматривается. Отметим только, что это фильтр верхних частот, в котором время t_n переходного процесса при скачкообразном изменении постоянного сигнала между циклами измерения уменьшено до

$$t_n \approx \frac{T}{2}$$

В реальном случае коэффициент K_n имеет конечное значение. Это обусловлено наличием высших гармоник в сетевой помехе и неизбежной погрешностью определения её нуля. Сравнительный анализ рассмотренного и других методов повышения помехозащищенности цифровых измерителей напряжения, проведенный при $\xi_n = 1$ для одинаковых значений содержания гармоник в сетевой помехе, отклонений δ частоты сети от номинального значения и погрешности γ определения нуля помехи, показал, что в рассмотренном ИЦВ коэффициент подавления помех значительно выше.

Например, если содержание гармоник в сетевой помехе равно 5%, $\delta = \pm 1\%$ и $\gamma = \pm 0,05\%$, то в описанном ИЦВ коэффициент подавления помех $K_n \approx 82$ дБ, в то время как при использовании других методов он не превышает 70 дБ.

Экспериментальная проверка разработанного интегрирующего цифрового измерителя напряжения подтвердила результаты теоретического исследования.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы. М., изд-во «Энергия», 1974.
2. Розенблат М. Г. и др. Подавление помех несинхронизированными цифровыми вольтметрами.—Сб.: Техника средств связи. Сер. РТ, 1976, вып. 6.
3. Малеханова С. Ф., Швецов Г. А., Еськин А. М. Интегрирующий цифровой вольтметр. Авт. св. СССР, кл. Н 03 к 13/20, № 547036, 1976. Бюллетень изобретений, 1977, № 6, с. 173.