УДК 621.316.925

ПОЛУЧЕНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТАХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Докт. техн. наук, проф., РОМАНЮК Ф. А., асп. КОВАЛЕВСКИЙ А. В.

Белорусский национальный технический университет

В микропроцессорных защитах электроустановок в качестве полезной информации преимущественно используются сигналы промышленной частоты, которые выделяются из сложных входных токов и напряжений с помощью соответствующих частотных фильтров. При этом контролируемы-
ми могут являться средние значения полученных в результате фильтрации синусоидальных сигналов. Следует заметить, что в токовых защитах идентификация сигнала по среднему значению отличается высокой надежностью.

В основу получения средних значений входных сигналов в защитах электроустановок положено следующее выражение:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} |u(t)|dt, \qquad (1)$$

где $u(t)$ – мгновенное значение сигнала; T – интервал усреднения, принимаемый обычно равным периоду сигнала.

При цифровой реализации (1) в микропроцессорных защитах может использоваться соотношение

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |u_i|, \qquad (2)$$

где n – количество отсчетов мгновенных значений сигнала на интервале усреднения; u_i – отсчеты мгновенных значений сигнала, зафиксированные с шагом Δt.

Для определения среднего значения синусоидального сигнала в соответствии с (2) по отсчетам мгновенных значений, зафиксированных, как показано на рис. 1, непосредственно используется выражение

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{n}(|u_1| + ... + |u_j| + ... + |u_n|). \quad (3)$$

Основным параметром, позволяющим дать количественную оценку такому усреднению сигнала, является коэффициент пульсаций $k_{\text{п}}$ среднего значения $U_{\text{ср}}$.

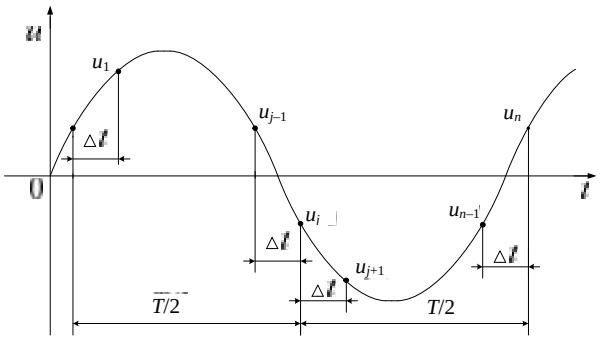

Рис. 1. Порядок фиксации мгновенных значений синусоидального сигнала

С целью минимизации $k_{\text{п}}$ шаг Δt должен согласовываться с расчетной частотой входного сигнала $f_{\text{р}}$

$$\Delta t = \frac{1}{f_{\text{р}} n}. \quad (4)$$

При неизменном Δt отклонение частоты от расчетной величины обусловливает ухудшение качества усреднения и увеличение коэффициента пульсаций. Для устранения таких последствий необходимо изменять Δt в соответствии с отклонением частоты от $f_{\text{р}}$. Однако практическая реализация этого подхода требует текущего контроля частоты сигнала и сопряжена с усложнением как технических средств, так и программного обеспечения микропроцессорных защит. Поэтому представляется более рациональным использование алгоритмов формирования средних значений синусоидального сигнала, отличающихся низкой чувствительностью к изменениям промышленной частоты.

В основу их получения положим соображения, изложенные в [1]. Будем считать, что вычисленное по выражению (3) среднее значение сигнала относится к моменту измерения отсчета u_j, соответствующего половине интервала наблюдения. При данном условии значение u_j всегда соответствует расчетному моменту измерения независимо от частоты. Другие отсчеты мгновенных значений сигнала соответствуют расчетным моментам измерения только при частоте f, равной расчетной $f_{\text{р}}$. При отклонении частоты f от значения $f_{\text{р}}$ и неизменном Δt все отсчеты мгновенных значений сигнала, за исключением u_j, не соответствуют расчетным моментам измерения, поскольку уже $\Delta t \neq \frac{1}{f_{\text{р}} n}$. Очевидно, что наибольшую степень отклонения от расчетных моментов будут иметь отсчеты u_1, u_{n-1}, u_n, а наименьшую – u_{j-1}, u_{j+1}.

Исходя из этого, для уменьшения $k_{\text{п}}$ среднего значения сигнала необходимо в (3) снизить удельный вес отсчетов с наибольшими отклонениями моментов измерения от расчетных и одновременно с этим увеличить удельный вес отсчетов с минимальными отклонениями моментов измерения от расчетных, приняв во внимание то, что для отсчетов синусоидального сигнала, зафиксированных на интервале наблюдения, равном периоду сигнала T, как показано на рис. 1, справедливы следующие соотношения:

$$|u_1| = |u_{j+1}|;\ |u_{j-1}| = |u_{n-1}|;\ |u_j| = |u_n| \text{ и т. д.}$$

С учетом этого, а также (3) выражения для получения среднего значения синусоидального сигнала, имеющие минимальную чувствительность к отклонениям частоты, приводятся к следующему виду:

при $n = 10$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{20}[|u_1| + |u_2| + |u_8| + |u_9| + |u_{10}| + 3(|u_3| + |u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7|)]; \qquad (5)$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{30}[|u_1| + |u_2| + |u_8| + |u_9| + |u_{10}| + 5(|u_3| + |u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7|)]; \qquad (6)$$

при $n = 12$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{24}[|u_1| + |u_2| + |u_{10}| + |u_{11}| + |u_{12}| + 2(|u_3| + |u_9|) + 3(|u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7| + |u_8|)]; \qquad (7)$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{36}[|u_1| + |u_2| + |u_{10}| + |u_{11}| + |u_{12}| + 3(|u_3| + |u_9|) + 5(|u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7| + |u_8|)]. \qquad (8)$$

Полученные методом вычислительного эксперимента коэффициенты пульсаций среднего значения синусоидального сигнала, которые определялись по приведенным выражениям, в виде зависимостей $k_{\text{п}}(f)$ при различных n и $\Delta t = \frac{1}{50n}$ приведены на рис. 2.

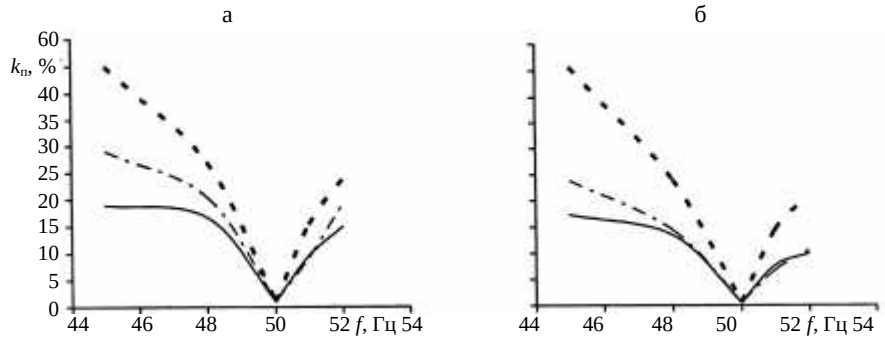

Рис. 2. Коэффициенты пульсаций среднего значения синусоидального сигнала при изменениях частоты: а – $n = 10$ - - - – полученного по (3), —— – по (5), – – – – по (6); б – $n = 12$ - - - – по (3), —— – по (7), – – – по (8)

Для всех выражений (3), (5)…(8) характерно снижение коэффициента пульсаций при увеличении n. В обоих случаях (при $n = 10$ и $n = 12$) мень-

шие значения дополнительной погрешности при отклонении частоты от 50 Гц обеспечивают выражения (5) и (7). В диапазоне отклонения частоты 48…50 Гц они позволяют получить действующее значение синусоидального сигнала с $k_п$, не превышающим 1…17 % в диапазоне изменения частоты 48…50 Гц.

Дальнейшие увеличение удельного веса отсчетов с минимальным отклонением моментов измерения от расчетных и уменьшение удельного веса отсчетов с наибольшим отклонением от расчетных не имеют смысла. Так, используя следующие формулы:

для $n = 10$

$$U_{ср} = \frac{1}{50}[|u_1| + |u_2| + |u_8| + |u_9| + |u_{10}| + 9(|u_3| + |u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7|)] \qquad (9)$$

или n = 12

$$U_{ср} = \frac{1}{60}[|u_1| + |u_2| + |u_{10}| + |u_{11}| + |u_{12}| + 5(|u_3| + |u_9|) + 9(|u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7| + |u_8|)], \qquad (10)$$

можно получить действующее значение сигнала с дополнительной погрешностью на частоте 48 Гц, равной 21 %, для формулы (9), т. е. на 4 % выше, чем для аналогичной (5). По (10) на частоте 48 Гц получаем погрешность, превышающую на 1,5 % погрешность, полученную по соответствующей формуле (7) на той же частоте, т. е. качественные характеристики получаются хуже.

Характеристики, представляющие собой реакцию выражений (3), (5)…(8) на синусоидальный входной сигнал с фазой включения 90º, представлены на рис. 3. Переходный процесс для (3) имеет несколько иной характер, чем для (5)…(8), у которых нет значительных отличий.

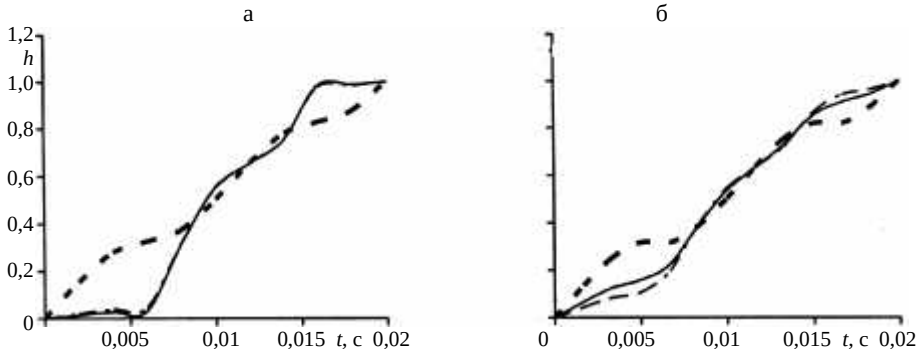

Рис. 3. Реакция выражений (3), (5)…(8): а – $n = 10$ - - - - – реакция (3), —— – (5), – - – – (6); б – $n = 12$ - - - – (3), —— – (7), – - – – (8)

Используя эту методику при n > 12, получим качество усреднения приблизительно такое же, как и для (3), поэтому этот подход оптимален для микропроцессорных защит с n ≤ 12.

Предложенные выражения могут быть положены в основу построения цифровых измерительных органов микропроцессорных токовых защит электроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р о м а н ю к Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 133 с.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 8.10.2004