

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОСЕТИ

О.М.Доронина, С.В.Хомич

Национальный университет
“Львовская политехника”
г.Львов, ул. Ст.Бандеры, 12
E-mail: serge@polynet.lviv.ua

Рассматривается проблема автоматического выбора диапазонов измерения энергетических параметров промышленной электросети. Анализируются особенности выбора коэффициентов нормализации сигналов сети по их действующим и мгновенным значениям, а также определения диапазонов представления усреднённых параметров электроэнергетики.

Введение. При широких диапазонах возможного изменения сигналов промышленной сети: от 0,1% до 120% номинального значения токов $I_{ном}$ – для установившихся режимов работы и до $20 \div 30 I_{ном}$ и $3 \div 4$ номинальных значений напряжений $U_{ном}$ – для переходных процессов, одним из путей повышения точности измерения параметров электроэнергии при ограниченной разрядности АЦП является введение нескольких диапазонов измерения каждого из параметров по критерию ограничения погрешности измерения до заданного уровня [1].

Как правило, в системе рассматриваемого типа выполняется:

- определение параметров электроэнергии по каждому периоду колебания контролируемых сигналов – для мониторинга переходных процессов;
- усреднение значений измеряемых параметров за определённые интервалы времени, обычно 1-2 с, – для контроля установившихся режимов работы [2].

При этом, с учётом того, что значения мощностей и энергий находятся в прямой зависимости от значений напряжений и токов, выбор диапазонов измерения электроэнергетических параметров должен сводиться к двум этапам:

- контроль выхода значений контролируемых токов и напряжений за определённые пределы, по результатам которого

определяется необходимость изменения коэффициентов нормализации сигналов;

- отслеживанию выхода усреднённых значений параметров за определённые пределы, по результатам которого определяются диапазоны их представления.

При этом контроль по первому этапу может выполняться как по действующим, так и по мгновенным значениям сигналов.

Выбор коэффициентов нормализации сигналов по их действующим значениям. Определение действующего значения N_G любого из сигналов $g(t)$ промышленной электросети в процессорной системе мониторинга состоит из операций нормализации $g(t)$, аналого-цифрового преобразования выборок мгновенных значений g_j нормализованного сигнала $g^*(t)$ в n точках дискретизации за период и цифровой обработки результатов преобразования N_{Gj} , с учётом суммарного приведённого к выходу АЦП смещения нуля Δ_g в измерительном канале, отклонения Δk_x коэффициента передачи АЦП k_x от расчетного значения и коэффициентов пропорциональности k_1 и k_2 , вводимых при выполнении цифровых операций:

$$g^*(t) = k_{nr} \cdot g(t) \rightarrow N_{Gj} = g_j^* \cdot (k_g + \Delta k_g) \rightarrow$$

$$N_G^* = k_2 \sqrt{k_1 \left[\sum_{j=1}^n (N_{Gj} - \Delta_g)^2 \right]} \cdot k_{kr} \rightarrow \quad (1)$$

$$N_G = k_G \cdot N_G^*,$$

где k_{nr} , k_{kr} , k_G – коэффициенты соответственно нормализации, коррекции и масштабный.

Причём Δ_g для синусоидального сигнала $g(t)$ определяется, как правило, путем суммирования N_{Gj} для n точек дискретизации параллельно с суммированием $(N_{Gj} - \Delta_g)^2$:

$$\Delta_g = \sum_{j=1}^n N_{Gj}; \quad (2)$$

коэффициент k_{kr} – путём преобразования опорного сигнала G_o по аналогии с $g^*(t)$ и сравнения результата преобразования с расчетным значением:

$$k_{kr} = (k_g G_o)^2 : \sum_{j=1}^n N_{G,j}^2 = \frac{k_g}{k_g + \Delta k_g}; \quad (3)$$

коэффициент k_G – по отношению расчетного значения показания контролируемого

сигнала к результату его вычисления для номинального значения с учётом допустимого значения погрешности измерения δ_G :

$$k_G = \frac{10^l G_{nom}}{N_{Gnom}}, \text{ причём } \frac{1}{10^l G_{nom}} \leq |\delta_G|. \quad (4)$$

При введении для контролируемого сигнала $g(t)$ ряда коэффициентов нормализации $k_{nr1} > \dots > k_{nrp} > \dots > k_{nrP}$, обеспечивающего выполнение условия $N_G \geq 1/\delta_G$ для расширенного диапазона изменения $g(t)$, процедура (1) должна дополняться операциями проверки невыхода очередного значения N_G при выбранном значении коэффициента нормализации k_{nrp} за пределы $[N_{Gminp} \geq 1/\delta_G; N_{Gmaxp} = \varepsilon(k_{nrp-1}/k_{nrp})N_{Gminp}]$, где ε – коэффициент гистерезиса, и переходом, при необходимости, к новому значению k_{nr} . Кроме того, т.к. введение ряда коэффициентов нормализации предполагает, как правило, разветвление измерительного канала [2], то при этом возникает необходимость во введении соответствующего ряда значений смещения нуля и масштабного коэффициента, которые могут быть определены соответственно параллельно с вычислением N_G и при калибровке измерительного канала. При этом процедура выбора коэффициента нормализации выполняется для очередного периода $g(t)$ и может быть описана как:

$$\Delta N_G = N_G - N_{Gmaxp} \rightarrow \begin{cases} \text{если } \Delta N_G > 0 \text{ и } p \neq P, \text{ то } k_{nr} = k_{nrp+1}, \\ \Delta_g = \Delta_{gp+1}, k_G = k_{Gp+1}; \\ \text{если } \Delta N_G \leq 0 \text{ и } p \neq 1, \text{ то} \\ \Delta N_G = N_G - N_{Gminp} \rightarrow \\ \text{если } \Delta N_G \leq 0, \text{ то } k_{nr} = k_{nrp-1}, \\ \Delta_g = \Delta_{gp-1}, k_G = k_{Gp-1}. \end{cases} \quad (5)$$

Выбор коэффициентов нормализации сигналов по их мгновенным значениям.

При выборе коэффициента нормализации переменного сигнала $g(t)$ по его действующему значению этот коэффициент остаётся постоянным в течении всего текущего периода $g(t)$, что приводит к:

- увеличению относительной погрешности квантования для малых мгновенных значений сигнала по сравнению с амплитудным;

- искажению показаний мгновенных

значений, а следовательно, и действующих, при возможном выходе N_{gr} за разрядную сетку АЦП вследствие выхода g_j за верхний допустимый предел для выбранного коэффициента нормализации.

Появление быстродействующих аналоговых коммутаторов, компараторов, АЦП и усилителей с программируемым коэффициентом усиления, с одной стороны, относительно малая скорость изменения сигналов промышленной сети (до 0,03% от номинального значения за 1 мкс для установившегося режима работы и до 0,5% – для переходных процессов) и конвейерный принцип работы измерительных каналов системы мониторинга энергообъектов, когда выборка мгновенного значения сигнала для подключения ко входу АЦП производится во время аналого-цифрового преобразования предыдущей выборки, с другой стороны, приводит к возможности выбора коэффициента нормализации для текущих мгновенных значений контролируемых сигналов. Для этого на каждом шаге дискретизации контролируемого сигнала, до подключения его ко входу АЦП, проводится контроль его уровня, по результату которого задаётся необходимый коэффициент нормализации посредством установления коэффициента усиления драйвера АЦП. Причём уровневый контроль может быть как аналоговым [3], так и цифровым.

Первый способ требует включение в схему измерительного канала аналоговых компараторов – по два на каждый диапазон измерения соответственно для положительной и отрицательной полуволны сигнала, что приводит к усложнению схемы и анализа результатов контроля пропорционально увеличению числа диапазонов измерения.

Второй способ предполагает включение дополнительного быстродействующего АЦП, позволяющего увеличение числа диапазонов измерения только за счёт программных средств.

Цифровой предварительный контроль уровня текущего мгновенного значения сигнала $g(t)$ выливается в проверку невыхода очередного кода $|N_{gr}^{(d)}|$ на выходе дополнительного АЦП при определённом, например, минимальном, коэффициенте нормализации k_{nrp} за предел $N_{gr} \geq 2^{r-m}/\delta_g$, где: δ_g – допустимая относительная погрешность квантования для амплитудного значе-

ния $g(t)$; m, r – разрядность, соответственно, основного и дополнительного АЦП, причём $2^r \geq k_{nr1}/k_{nrp}$, и установление значений k_{nr} и Δ_g :

$$\Delta N = N_g^{(d)} - N_{gp} \rightarrow \begin{cases} \text{если } \Delta N \geq 0, \text{ то } k_{nr} = k_{nrp}, \Delta_g = \Delta_{gp}; \\ \text{иначе } \Delta N = N_g^{(d)} \cdot (k_{nrp-1} / k_{nrp}) - N_{gp} \rightarrow \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \text{если } \Delta N \geq 0, \text{ то } k_{nr} = k_{nrp-1}, \Delta_g = \Delta_{gp-1}; \\ \text{иначе } \Delta N = N_g^{(d)} (k_{nrp-2} / k_{nrp}) - N_{gp} \rightarrow \end{cases}$$

и т.д. до $\Delta N \geq 0$.

Тут же надо отметить, что при установлении значения k_{nr} для каждой из выборок мгновенных значений сигнала $g(t)$ за период сумма N_{gv} (1) должна формироваться с приведением значений k_{nr} к максимальному. Кроме того, смещение нуля согласно (2) для разветвлений измерительного канала должно определяться путём дополнительных подключений $g(t)$ ко входу основного АЦП при постоянном значении k_{nr} .

Определение диапазонов представления усреднённых параметров электроэнергии. При контроле параметров N_{Gv} по каждому текущему периоду T_{gv} усреднение N_{Gv} за промежуток времени T_s сводится, как правило, к определению суммы N_{Gv} , со сведением диапазонов N_{Gv} , соответствующих значениям k_{nr} , к нижнему, за временной интервал:

$$T_s - T_{g0} < \sum_{v=1}^V T_{gv} \leq T_s + T_{gV}, \quad (7)$$

с последующим делением суммы N_{Gv} за V периодов на V и определению диапазона представления результата N_{Gs} усреднения с учётом допустимого значения погрешности его квантования.

Возможно упрощение процедуры сведения N_{Gs} к требуемому диапазону представления путем замены операции сравнения N_{Gs} с заданными верхними значениями $N_{Gs} - N_{Gp}$ для возможных диапазонов представления на сравнение суммы N_{Gv} за T_s с VN_{Gp} и при необходимости перехода N_{Gs} с

1-го диапазона к p -му – увеличение делителя V в N_{Gp}/N_{G1} раз. При этом процедура вычисления N_{Gs} будет состоять из следующих операций:

- по окончании текущего периода T_{gv} :

$$\sum_{v'=1}^V N_{Gv'} = N_{Gv} + \sum_{v'=1}^{v-1} N_{Gv'}; \quad (8)$$

- по окончании T_s :

для $p = 1, 2, \dots$ до $\Delta N_{Gp} \leq 0$:

$$\Delta N_{Gp} = \sum_{v'=1}^V N_{Gv'} - N_{Gp}; \quad (9)$$

$$V' = V \cdot \frac{N_{Gp}}{N_{G1}} \rightarrow N_{Gs} = \sum_{v'=1}^V N_{Gv'} : V'. \quad (10)$$

Выводы. Автоматический выбор диапазонов измерения энергетических параметров промышленной электросети может быть сведен к выбору коэффициентов нормализации сигналов сети по их действующим или мгновенным значениям и определению диапазонов представления усреднённых параметров электроэнергии. При этом контроль коэффициентов нормализации по действующим значениям сигналов более прост в реализации, однако он может привести к искажению информации при относительно быстрых изменениям сигналов при переходных процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доронина О.М., Хомич С.В., Оганесян А.Г. Расширение диапазонов измерения системы контроля энергетических параметров электросети// Системы контроля окружающей среды. Средства и мониторинг. Сборник научных трудов НАНУ. – Севастополь: МГИ, 2005. – С.114-116.
2. Doronina O.M., Khomych S.V., Lavyrov G.N. Program Technical Complex for Automated Supervisory Control Systems of the electric mains and substations// Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. Lviv: NU "LP", 2003. – P.27-28.
3. Guery A., Kitchin Ch. 16-bit ADC provides 19-bit resolution// Analog Devices, EDN, 2002, №2.