

Д.А.ГАПОН, старш. преподаватель, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ МЕТОДОМ СКАНИРОВАНИЯ ПО АЦП

В роботі виконано розрахунок методичної погрішності при визначенні частоти промислової мережі по переходах сигналу через заданий рівень. Моменти переходу визначаються шляхом лінійної інтерполяції сигналу від АЦП. Зроблені висновки про шляхи зниження відзначеної погрішності.

Systematic errors in determining the frequency of industrial network of transitions signal through a specified level are considered. Transition points are determined by linear interpolation of the signal from the ADC. Conclusions about ways to reduce the errors are made.

Введение. Актуальность проблемы совершенствования системы автоматической частотной разгрузки (АЧР) подтверждается значительным количеством публикаций выпускающихся как в Украине так и за рубежом. Одним из основных направлений работ является разработка новых или усовершенствование старых методов измерения частоты с целью повышения функциональных качеств системы АЧР. Основными требованиями к математическому аппарату метода измерения промышленной частоты, которые и определяют направление исследований, являются [1]: 1) высокое быстродействие (1...5 периодов основной гармоники); 2) высокая точность (до 0.01 Гц); 3) высокая устойчивость к помехам и искажениям исходного сигнала; 4) возможность реализации метода на современных вычислительных средствах в реальном времени.

Так, для реализации большинства разрабатываемых методов, способных удовлетворить вышеперечисленные требования, необходимы значительные вычислительные мощности, что, в свою очередь, приводит к удорожанию и снижению надежности конечных устройств [2,3]. На практике же наиболее часто применяемым методом определения частоты промышленной сети является метод определения периодов сигнала по моментами переходов сигнала через заданный уровень и, в частности, через нулевой уровень, так как он наиболее прост в реализации и обладает достаточными характеристиками.

Постановка задачи. Как правило, при определении момента пересечения применяется линейная интерполяция сигнала, что приводит к возникновению ошибки.

Если напряжение в сети изменяется по синусоидальному закону:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi), \tag{1}$$

где U_m - амплитуда, ω - частота, а φ - фаза.

Тогда момент пересечения уровня l может быть определен как:

$$t_l = \frac{\arcsin\left(\frac{l}{U_m}\right) - \varphi}{\omega}. \tag{2}$$

Очевидно, что в условиях, когда параметры исходного сигнала являются неизвестными применение формулы (2) на практике является невозможным. Поэтому применяется линейная интерполяция по известным значениям, полученным с помощью аналого-цифрового преобразования (рис 1).

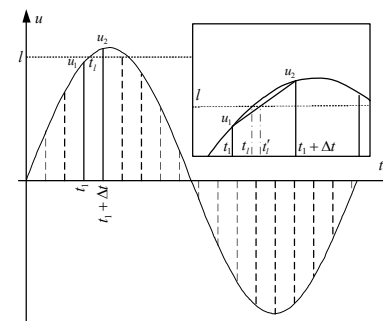


Рис. 1 - Определение моментов пересечения заданного уровня при помощи линейной интерполяции

Тогда, момент пересечения может быть определен как:

$$t'_l = t_1 + \frac{l / U_m - \sin(\omega t_1 + \varphi)}{\sin(\omega(t_1 + \Delta t) + \varphi) - \sin(\omega t_1 + \varphi)} \Delta t. \tag{3}$$

При этом результат приближения может значительно отличаться от истинного значения и зависит от параметров сигнала и частоты дискретизации. Для практической реализации метода необходимо установить характер этой зависимости и диапазон допустимых значений.

Решение задачи. Ошибка определения момента перехода через уровень l :

$$\Delta t_l = t_1 + \frac{l / U_m - \sin(\omega t_1 + \varphi)}{\sin(\omega(t_1 + \Delta t) + \varphi) - \sin(\omega t_1 + \varphi)} \Delta t - \frac{\arcsin\left(\frac{l}{U_m}\right) - \varphi}{\omega}. \tag{4}$$

Максимальное значение будет возникать при:

$$l_m = \pm \frac{U_m \sqrt{\omega^2 \Delta t^2 - a^2 + 2ab - b^2}}{\omega \Delta t}, \quad (5)$$

где $a = \sin(\omega(t_1 + \Delta t) + \varphi)$, $b = \sin(\omega t_1 + \varphi)$.

Подставив полученный результат в (4) можно получить вид зависимости величины ошибки от параметров сигнала, его фазы и частоты дискретизации.

Из соотношений следует, что изменение частоты дискретизации приводит к эффекту, обратному эффекту, связанному с изменением частоты основного сигнала. Причем снижение частоты синусоиды, которое наиболее характерно для условий работы АЧР, приводит к уменьшению величины ошибки интерполяции. Поэтому в дальнейшем исследовалось влияние частоты дискретизации на значение ошибки в относительном масштабе, то есть исходя из числа отсчетов АЦП на один период синусоиды. Полученные результаты сведены в таблицу 1 и показаны на рис.2. Число отсчетов было выбрано от 10 до 100, что соответствует частотам дискретизации от 500 Гц до 5000 Гц при номинальной частоте сети 50 Гц.

Таблица 1 - Величина ошибки при номинальной частоте 50 Гц

Начальная фаза, град	Число отсчетов за период основной частоты					
	10	20	40	60	80	100
0	0,1315	0,0160	0,0020	0,0006	0,0002	0,0001
10	0,2116	0,0340	0,0064	0,0025	0,0013	0,0008
20	0,3088	0,0546	0,0112	0,0046	0,0025	0,0016
30	0,4369	0,0796	0,0169	0,0071	0,0039	0,0024
40	0,6264	0,1130	0,0241	0,0102	0,0056	0,0035
50	0,9616	0,1632	0,0344	0,0145	0,0079	0,0050
60		0,2550	0,0514	0,0214	0,0117	0,0073
70		0,5010	0,0884	0,0357	0,0192	0,0119
80			0,2537	0,0887	0,0451	0,0272

Заключение. Характер полученных зависимостей показывает что, ошибка значительно возрастает при приближении фазы синусоиды к $\frac{\pi}{2} \mp \pi k$, где $k = 1, 2, 3 \dots$. При переходе через максимум или минимум синусоиды возникает область неопределенности, где линейная интерполяция может дать результат не соответствующий действительному. Поэтому наиболее целесообразно рассматривать моменты пересечения уровней близких к нулевому.

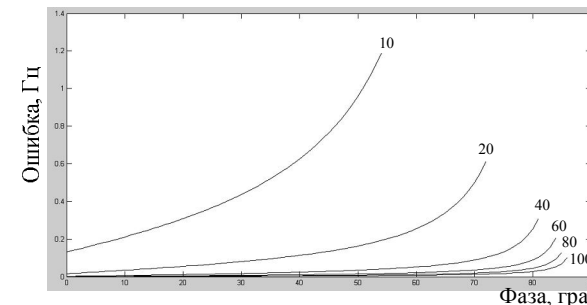


Рис. 2 - Зависимость ошибки от угла и частоты дискретизации

В тоже время, увеличение частоты дискретизации позволяет снизить данный эффект и расширить допустимый диапазон. Так:

- 1) При числе отсчетов 10...20 точность интерполяции неудовлетворительная;
- 2) При 40 отсчетах за период допустимые уровни, при которых погрешность удовлетворяет требованиям, находятся в диапазоне 0...0,25 от амплитуды синусоиды;
- 3) При 100 отсчетах за период применение интерполяции позволяет с достаточной точностью определять моменты перехода через уровни до 0,85 от амплитудного значения.

Таким образом, для данного метода следует рекомендовать частоты дискретизации от 3000 до 5000 Гц. В противном случае необходимо применять альтернативные методы, такие как использование аналоговых компараторов или интерполяцию кривыми более высоких порядков.

Список литературы: 1. Данильчук В.Н. Современная аппаратура частотных автоматик разгрузки, ввода резервов ГЭС, защит и блокировок / В.Н. Данильчук, И.Ф. Нехай, Е.А. Коломиец, В.А. Перетяцько – Электрические сети и системы. – 2008. - №2. – С. 45-64. 2. Jeon Hyeon-Jin Iterative Frequency Estimation Based on MVDR Spectrum / Hyeon-Jin Jeon, Tae-Gyu Chang // IEEE Transactions on power delivery. – 2010. - Vol.25/ - No.2. – P. 621-630. 3. Salcic Zoran An Improved Taylor Method for Frequency Measurement in Power Systems / Zoran Salcic, Sing Kiong Nguang // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 2009. - Vol.58. -No.9. - P.3288-3294



Гапон Дмитрий Анатольевич закончил факультет автоматизации и приборостроения Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» в 2001 году по специальности «Системы управления и автоматизации». Круг научных интересов: автоматическая частотная разгрузка.

Поступила в редколлегию 03.09.2010