

А.А. СЕМИН, асс. ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск

ВЫБОР ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ СНЯТИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АД

Введение. Дискретизация сигнала по времени является крайне распространенной процедурой в системах сбора и обработки информации. В частности она используется при идентификации параметров схемы замещения АД, работающих в составе приводов переменного тока при снятии экспериментальных данных. Важным вопросом при этом является выбор частоты дискретизации.

Постановка задачи. Слишком большая частота дискретизации приводит к повышению требований к оборудованию и, как следствие, к его удорожанию. С другой стороны, недостаточная величина частоты дискретизации влечет за собой снижение точности результатов измерений. Поэтому, актуальным является вопрос выбора ее величины, удовлетворяющей обоим приведенным выше требованиям.

Материалы исследований. Обоснование частоты дискретизации опирается на теорему Котельникова, которая распространяется на любые сигналы с ограниченным спектром. Смысл ее заключается в том, что для восстановления сигнала без потерь информации необходимо, чтобы частота отсчетов была в 2 раза выше частоты f_{max} , которой ограничивается спектр сигнала. Однако, существует ряд факторов благодаря которым на практике частота дискретизации выбирается в несколько раз выше [1]. В частности, это обусловлено невозможностью использования импульсов бесконечно малой длительности; тем фактом, что реальные сигналы имеют неограниченный частотный спектр и т.д.

В виду сложности аналитического представления, подходящим способом для решения поставленной задачи является численное моделирование с помощью специализированных программ, например MathCAD.

Рассмотрим широко распространенные в настоящее время электроприводы, в состав которых входит двухзвенный преобразователь частоты с ШИМ с неуправляемым выпрямителем напряжения в звене постоянного тока.

При высокой частоте ШИМ и активно-индуктивной нагрузке, какой является обмотка статора, ток нагрузки оказывается практически синусоидальным [2]. Поэтому сосредоточим внимание на выборе частоты дискретизации при вычислении амплитуды и фазы гармоники напряжения.

Существует несколько разновидностей ШИМ. Рассмотренный ниже подход может быть применен к любой из них. Широкое применение в промышленности нашла синусоидальная ШИМ, принцип которой подробно изложен в литературе [2,3]. Управляющие сигналы u_i^* ($i = A, B, C$), представляющие собой синусоиды, сравниваются с пилообразным опорным напряжением (в данном случае используется симметричное пилообразное напряжение). В зависимости от их соотношений, будут замкнуты те или иные ключи инвертора. Кратковременную задержку между размыканием одного ключа и замыканием другого для восстановления запирающих свойств транзистора учитывать не будем.

Изменение амплитуды u_i^* приводит к изменению амплитуды первой гармоники напряжений на выходе инвертора.

Поскольку инвертор при проведении идентификации будет формировать напряжение частотой 5Гц [4], амплитуда управляющего сигнала должна быть пропорционально уменьшена во избежание насыщения магнитной системы машины. Так, положим:

Так, положим:
$$\frac{u_i^*}{U_{опм}} = \frac{5\text{Гц}}{50\text{Гц}}$$
. Согласно [3], первая гармоника ряда Фурье для фазного напряжения при соединении обмоток в звезду равна
$$\frac{mU_d}{2} \sin(\omega t + \varphi)$$
.

Здесь: m – отношение амплитуды управляющего напряжения к амплитуде опорного напряжения;
 U_d – напряжение, подаваемое на инвертор.

Частоту опорного напряжения примем 1 кГц (в преобразователях частоты обычно имеется возможность изменения этого параметра в ограниченном диапазоне). Для исследования была принята величина отношения амплитуды первой гармоники напряжения, рассчитанное при данной частоте дискретизации к ее теоретическому значению. Амплитуда и фаза первой гармоники напряжения вычисляется с помощью коэффициентов Фурье, которые, с использованием дискретного преобразования Фурье, находятся как:

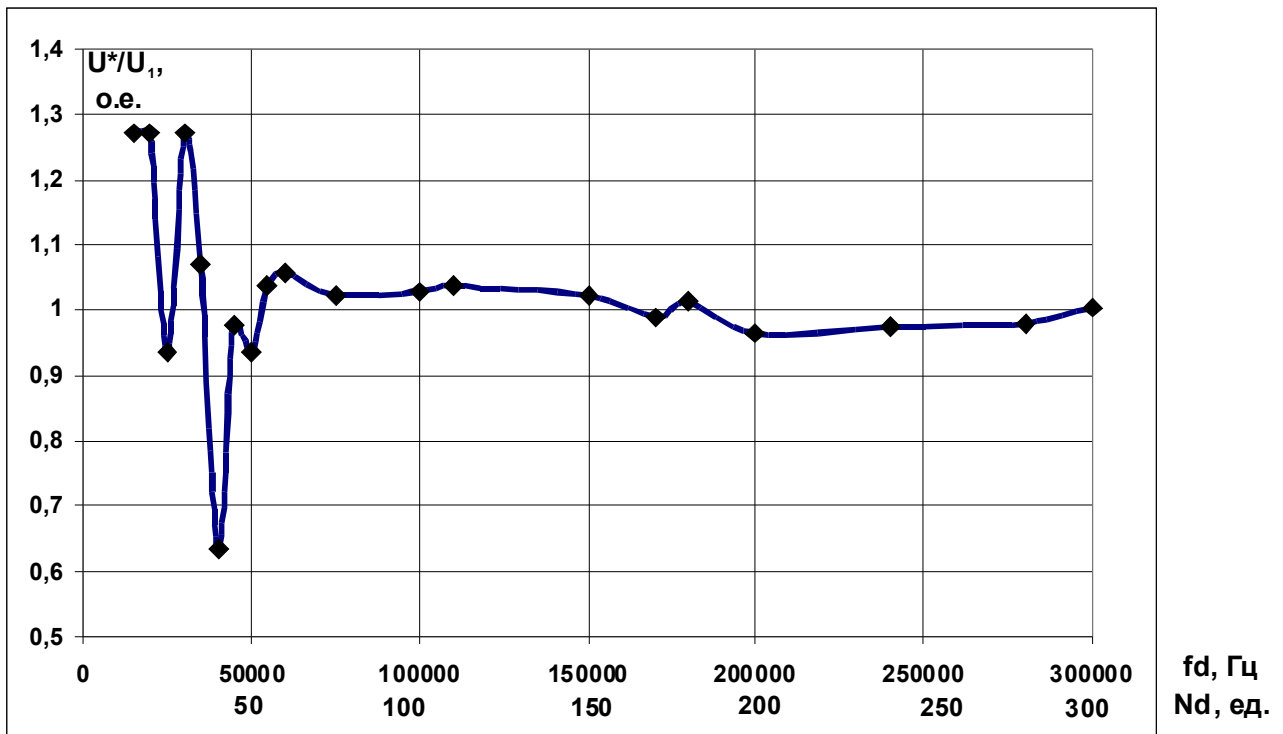


Рисунок 1 – Зависимость отношения амплитуды первой гармоники напряжения, рассчитанное при данной частоте дискретизации к ее теоретическому значению при частоте опорного напряжения 1 кГц

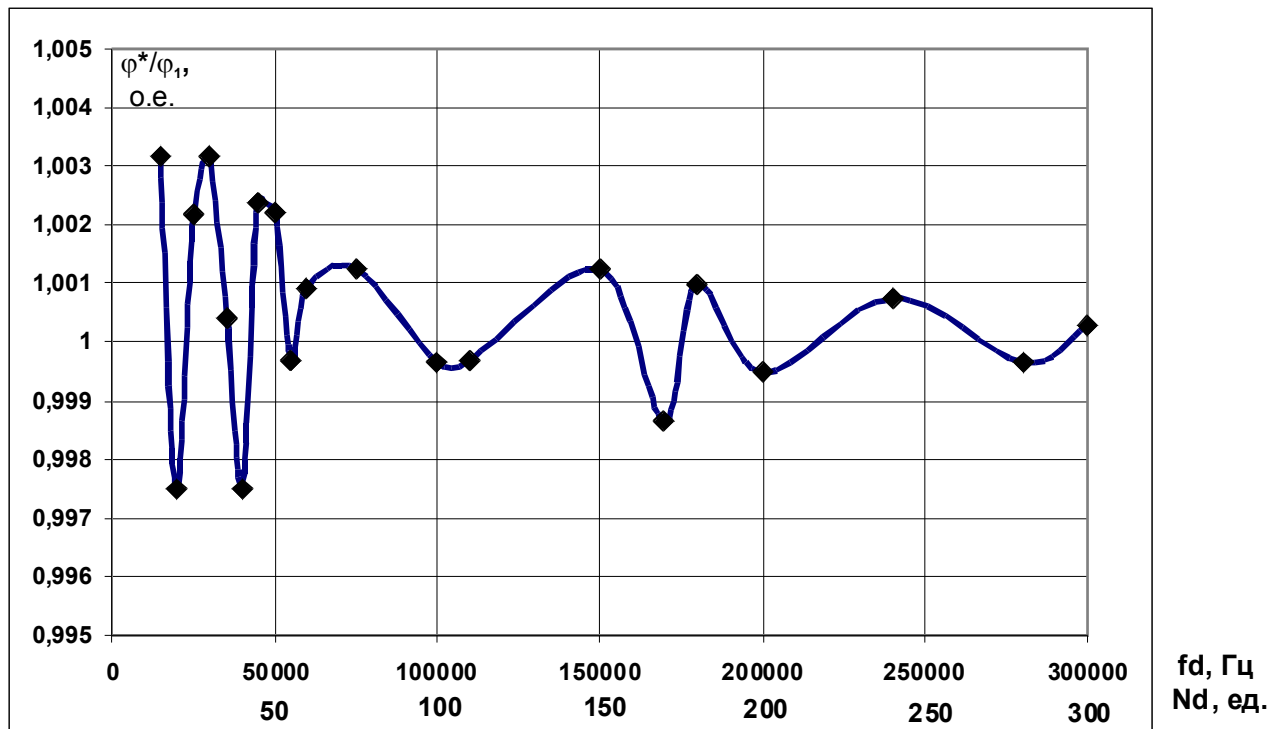


Рисунок 2 – Зависимость отношения фазы первой гармоники напряжения, рассчитанное при данной частоте дискретизации к ее теоретическому значению при частоте опорного напряжения 1 кГц

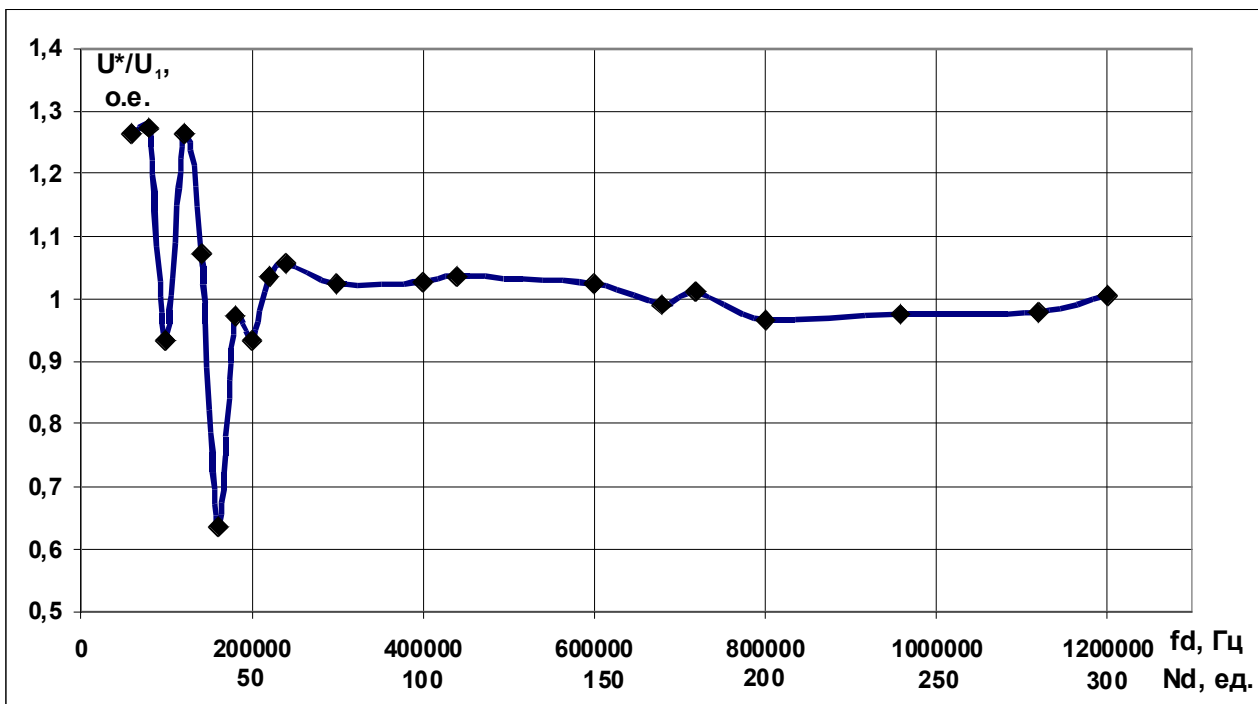


Рисунок 3 – Зависимость отношения амплитуды первой гармоники напряжения, рассчитанное при данной частоте дискретизации к ее теоретическому значению при частоте опорного напряжения 4кГц

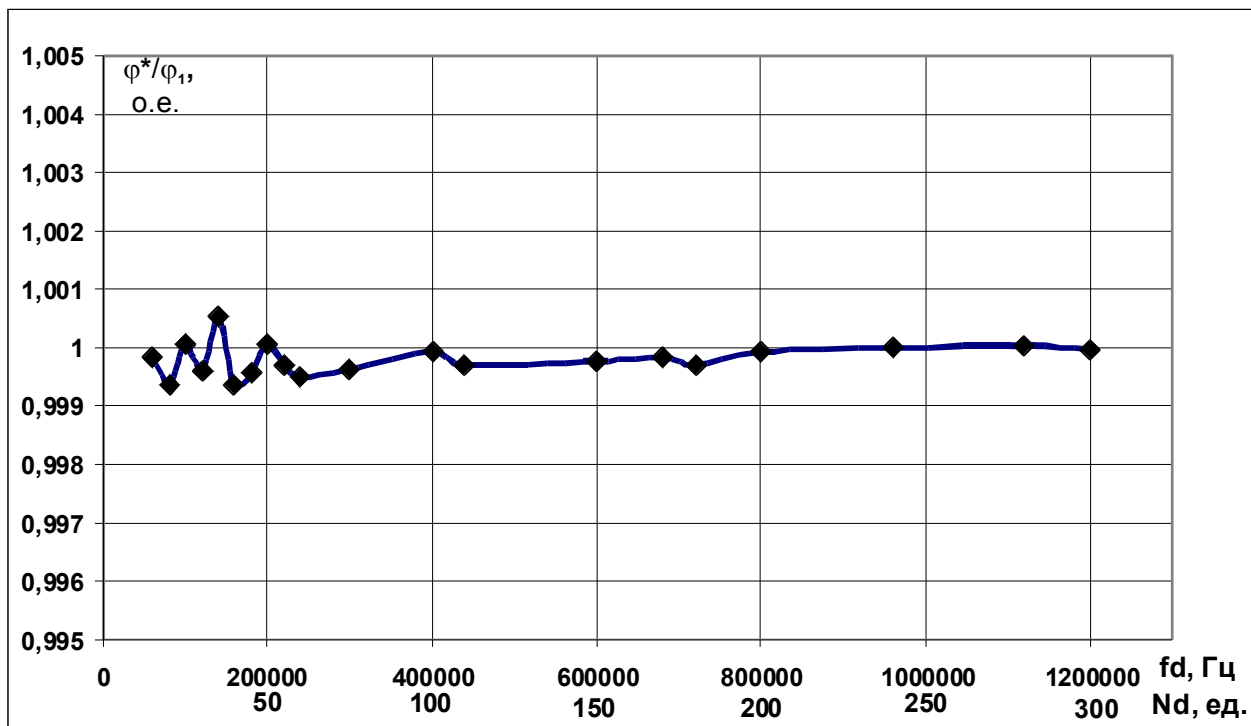


Рисунок 4 – Зависимость отношения фазы первой гармоники напряжения, рассчитанное при данной частоте дискретизации к ее теоретическому значению при частоте опорного напряжения 4 кГц

$$a_k = \frac{2}{N} \operatorname{Re}\{X(k)\},$$

$$b_k = -\frac{2}{N} \operatorname{Im}\{X(k)\},$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) e^{-jn\omega_k}$$

где $\omega_k = \frac{2\pi k}{N}$,

N – количество дискрет в пределах «окна»;
 k – номер гармоники.

Результаты расчетов в виде графиков представлены на рисунках 1 и 2.

Здесь f_d и Nd – это частота дискретизации и число дискрет на период опорного напряжения соответственно.

Дополнительно на рис. 3 и 4 представлены результаты для частоты опорного напряжения 4 кГц. Видно, что результаты оказались достаточно близкими к полученным на рис. 1 и рис. 2, если в качестве независимой переменной рассматривать Nd .

Выводы.

Из результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- шаг дискретизации существенно влияет на точность определения амплитуды и фазы гармоники ШИМ-модулированного сигнала напряжения;
- точность определения фазы первой гармоники выше, чем точность определения амплитуды первой гармоники напряжения;
- результаты для различных частот опорного пилообразного напряжения практически совпадают, если рассматривать в качестве независимой переменной число измерений приходящийся на период опорного напряжения (Nd , ед);
- для преобразователя с синусоидальной ШИМ рекомендуемая частота дискретизации должна быть $\geq (75 \dots 100)f_{оп}$, где $f_{оп}$ – частота опорного напряжения. В этом случае точность определения не будет превышать 3%;
- ввиду определяющего влияния частоты дискретизации на точность нахождения амплитуды и фазы гармоники, результаты при рассмотрении других видов ШИМ, очевидно, будут достаточно близкими к полученным (для синусоидальной ШИМ), если использовать в качестве независимой переменной величину Nd .

Современные АЦП [5] обладают максимальной частотой преобразования данных порядка десятков и сотен МГц. Наиболее приемлемыми, на наш взгляд, являются бюджетные варианты, например [6], с частотой преобразования от 100 до 1 МГц. Так, при $Nd = 100$ и частоте коммутации ключей 1 кГц достаточно выбрать АЦП с частотой преобразования равной 100 кГц.

Список литературы: 1. Денисенко В. Динамическая погрешность измерительных каналов / В. Денисенко // АСУ ТП СТА. – 2011. – №2. – С.92-101. 2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – М.: АКАДЕМИЯ, 2006. – 272 с. 3. Поздеев А. Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах / А. Д. Поздеев. — Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 1998. — 172 с. 4. Бешта А. С. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя при несимметричном питании статора / А. С. Бешта, А. А. Семин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2/2014 (26). С. 10-16. 5. <http://www.analog.com/en/products/>. 6. <http://www.lcard.ru/products/>
Bibliography (transliterated): 1. Denisenko, V. “Dinamicheskaya pogreshnost izmeritelnykh kanalov.” ASU TP STA. No. 2.2011. 92-101. Print. 2. Sokolovskiy, G. G. “Elektroprivodyi peremennogo toka s chastotnyim regulirovaniem.” Moscow: AKADEMIYA, 2006. Print. 3. Pozdeev, A.D. “Elektromagnitnyie i elektromekhanicheskie protsessyi v chastotno-reguliruemyyih asinhronnyih elektroprivodah.” Cheboksary: Izd-vo ChGU, 1998, Print. 4. Beshta, A.S. and Semin, A.A. “Parameters estimation of induction motor equivalent circuit using asymmetrical stator supply.” Elektromekhanichni ta energozberigayuchi systemy. Schokvartalnyi naukovovo-virobnichiy zhurnal. No. 2/2014 (26), 10-16 Print. 5. <http://www.analog.com/en/products/>. 6. <http://www.lcard.ru/products/>

Поступила (received) 14.07.2015