

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Мамчур Д.Г., ассист.

Кременчугский государственный политехнический университет

имени Михаила Остроградского

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

E-mail: scenter@polytech.poltava.ua

Введение. При определении текущего технического состояния асинхронных двигателей (АД) на данный момент наиболее перспективными являются методы, основанные на анализе мгновенных значений сигналов тока, напряжения и мощности [1].

Указанные сигналы получают путём измерения на зажимах потребителя, в данном случае – асинхронной машины.

При этом на гармонический состав сигналов влияние оказывают как некачественность питающей сети, так и нелинейность потребителя. Диагностика машин переменного тока в полевых условиях предполагает анализ режимов их работы при питании от сетей с некачественным напряжением.

Влияние некачественности сети снижает точность или искажает результаты диагностики.

Цель работы. Выделение вклада некачественности питающей сети в гармонический состав сигналов тока и напряжения для анализа технического состояния АД.

Материал и результаты исследования. Для долевого разделения некачественностей питающей сети в точке подключения рассмотрим схему замещения «питающая сеть – нелинейный потребитель» (рис. 1).

Поставленная задача может быть решена в случае представления питающей сети линейным объектом с сосредоточенными параметрами активно-индуктивного характера, что является справедливым для сетей напряжением до 1000 В.

Определение направления потока энергии отдельных гармоник тока и напряжения осуществляется на основании анализа нулевой гармоники мгновенной мощности [2].

Для приведённой схемы составим уравнения баланса напряжений:

– для случая доминирования амплитуд гармоник источника питания,

$$\dot{U}_{Hn} = \dot{U}_{In} - \dot{I}_n \dot{Z}_{Cn};$$

– для случая доминирования гармоник напряжения, формируемых нелинейным потребителем,

$$\dot{U}_{Hn} = \dot{U}_{In} + \dot{I}_n \dot{Z}_{Cn},$$

где n – номер гармоники, \dot{U}_{Hn} – гармоника напряжения на зажимах потребителя, \dot{U}_{In} и \dot{U}_{Hn} – гармоники э.д.с. источника питания и нелинейной нагрузки, \dot{I}_n – гармоника тока, \dot{Z}_{Cn} и \dot{Z}_{Hn} – полное комплексное сопротивление участка сети и нелинейного потребителя.

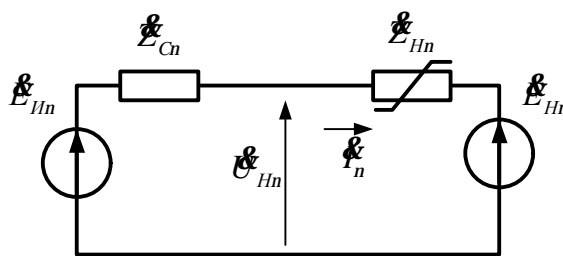


Рисунок 1 – Схема замещения участка «питающая сеть – нелинейный потребитель»

При неизвестных значениях гармоник э.д.с. источника \dot{U}_{In} и параметрах сети $\dot{Z}_{Cn} = R_C + j\omega L_C$ решение поставленной задачи классическими методами не представляется возможным, однако выход может быть найден при использовании уравнений баланса мгновенной мощности [2]:

$$\begin{cases} P_{0H} = P_{0I} \pm P_{0R_C}; \\ P_{kaH} = P_{kaI} \pm (P_{kaL_C} + P_{kaR_C}); \\ P_{kbH} = P_{kbI} \pm (P_{kbL_C} + P_{kbR_C}). \end{cases} \quad (1)$$

– для источника:

$$Pa_{mH} = 0,5 \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ea_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ea_{k-m} - \\ - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Eb_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Eb_{k-m} \end{array} \right);$$

$$Pb_{mH} = 0,5 \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ea_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ea_{k-m} + \\ + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Eb_{m-k} - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Eb_{k-m} \end{array} \right);$$

– для мощности на зажимах потребителя:

$$Pa_{mH} = 0,5 \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ua_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ua_{k-m} - \\ - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ub_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ub_{k-m} \end{array} \right);$$

$$Pb_{mH} = 0,5 \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ua_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ua_{k-m} + \\ + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ub_{m-k} - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ub_{k-m} \end{array} \right);$$

– для активного сопротивления сети:

$$Pa_{mR} = 0,5 R_C \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ia_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ia_{k-m} - \\ - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ib_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ib_{k-m} \end{array} \right);$$

$$Pb_{mR} = 0,5 R_C \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ia_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ia_{k-m} + \\ + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ib_{m-k} - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ib_{k-m} \end{array} \right);$$

– для индуктивности сети:

$$Pa_{mL_C} = \frac{L_C m \omega}{4} \left(\begin{array}{l} - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ia_{m-k} - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ia_{k-m} - \\ - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ib_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ib_{k-m} \end{array} \right);$$

$$Pb_{mL_C} = \frac{L_C m \omega}{4} \left(\begin{array}{l} \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ia_k Ia_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ia_k Ia_{k-m} - \\ - \sum_{\substack{k=0 \\ m-k \geq 0}}^{N-1} Ib_k Ib_{m-k} + \sum_{\substack{k=0 \\ m-k < 0}}^{N-1} Ib_k Ib_{k-m} \end{array} \right);$$

где $Ia_k, Ia_{m-k}, Ib_k, Ib_{m-k}$ – косинусные и синусные составляющие гармоник тока порядка k и $m-k$;

$Ea_k, Ea_{m-k}, Eb_k, Eb_{m-k}, Ua_k, Ua_{m-k}, Ub_k, Ub_{m-k}$ – косинусные и синусные составляющие гармоник э.д.с. источника питания и напряжения на нагрузке соответственно.

При решении указанной системы уравнений возникает неопределённость – система имеет бесконечное множество решений.

Для того, чтобы найти искомую область решений, необходимо достоверно знать хотя бы одну искомую величину.

В качестве таких величин можно предварительно определить параметры питающей сети – R_C и L_C . Для этого исследуем участок цепи «питающая сеть – активная нагрузка» (рис. 2).

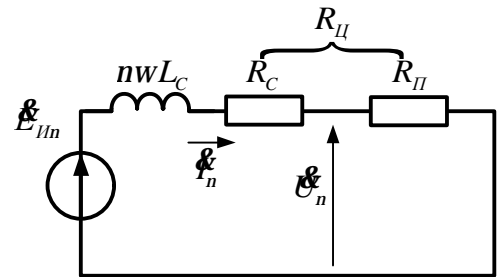


Рисунок 2 – Схема замещения участка «питающая сеть – активная нагрузка»

Для сетей с несинусоидальными источниками питания промышленной частоты полагают, что активные сопротивления не зависят от частоты.

В то же время индуктивное сопротивление растёт прямо пропорционально частоте [3].

Таким образом, суммарное активное сопротивление и индуктивность всей цепи можно определить из выражений:

$$R_{II} = \operatorname{Re} \left(\frac{\underline{E}u_1}{\underline{I}_1} \right);$$

$$L_{II} = \frac{1}{2pfn} \operatorname{Im} \left(\frac{\underline{E}u_1}{\underline{I}_1} \right),$$

где $\underline{E}u_1, \underline{I}_1$ – первые гармоники э.д.с. источника и тока, представленные в комплексном виде, соответственно; f – частота питающей сети; n – номер гармоники.

В реальных условиях датчики тока и напряжения можно поставить в точке подключения потребителя.

При этом измеренный ток будет одинаков для всей цепи.

Таким образом, можно найти суммарное активное сопротивление и индуктивность потребителя:

Для большего приближения к анализу реальных сигналов, к сигналам тока и напряжений с помощью стандартных средств Matlab добавлены шумы, по амплитуде не превышающие 1% максимального значения сигнала. Первоначально схема включается поочередно на различные значения испытательных сопротивлений для определения параметров сети.

Так, при заданных параметрах сети $R_C = 1,35 \text{ Ом}$ и $L_C = 0,012 \text{ Ом}$ и первой гармонике источника питания, равной

$$\underline{\mathcal{E}}_1 = 0,24506 - 155,53303i,$$

при решении системы, составленной для четырёх значений испытательного сопротивления, получено:

$$R_C = 1,34995 \text{ Ом}, L_C = 0,0120137 \text{ Ом},$$

$$\underline{\mathcal{E}}_i = 0,2450313 - 155,5330047i,$$

что свидетельствует о достаточной точности предложенного метода определения параметров сети.

Далее схема переключается на работу потребителя.

По результатам измерений составляется система уравнений баланса мощностей (1).

Результаты решения системы для случая 1, 3, 5, 7-й гармоник источника питания и 1, 3, 5, 7, 9-й гармоник, генерируемых потребителем, представлены в табл. 1.

Погрешность объясняется наличием шумов в сигналах тока и напряжений, а также погрешностями вычислений преобразования Фурье (ПФ) и других математических операций.

Таблица 1 – Оценка экспериментальных результатов

Исходные значения гармоник э.д.с.	Результат решения системы	Погрешность, %
$\underline{\mathcal{E}}_{i3} = 0,13985 - 31,07532i$	$\underline{\mathcal{E}}_{i3} = 0,140626 - 31,07557i$	0,6
$\underline{\mathcal{E}}_{i5} = 0,11216 - 15,50546i$	$\underline{\mathcal{E}}_{i5} = 0,11094 - 15,51176i$	1,1
$\underline{\mathcal{E}}_{i7} = 0,08702 - 7,72636i$	$\underline{\mathcal{E}}_{i7} = 0,09446 - 7,725i$	8,5

Стоит также заметить, что при составлении системы уравнений не учитывались уравнения баланса для 9-й гармоники, поскольку ввиду малости её амплитуды, значения ПФ для 9-й гармоники были близки к значениям шумов.

Выводы. Разработан метод определения параметров питающей сети на основании анализа токов и напряжений в точке подключения добавочных сопротивлений.

Разработан способ определения численных значений гармоник источника питания на основании определённых параметров сети.

Расчитанные величины в дальнейшем могут использоваться для приведения сигналов, полученных в точке подключения потребителей к источникам полигармонического питания, к сигналам, полученным при питании от синусоидальных сетей.

Это позволит анализировать возникновение и развитие искажений, вносимых потребителем в электрические сигналы, что может быть использовано в задачах определения их текущего технического состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И. Новая система показателей качества использования электрической энергии // Науковий вісник НГУ, 2004. – №3. – С. 20 – 26.
2. Калінов А.П., Мамчур Д.Г., Херардо Веласке Ангуло. Отделение влияния некачественности питающей сети на электрические машины переменного тока в задачах диагностики // Вісник НТУ «ХП», «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» – Харків: НТУ «ХП», 2008. – № 30. – С. 559 – 563.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – М.: Гардарики, 2001. – 638 с.

Стаття надійшла 12.04.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.