

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**Д.В. Жматов (Москва)**

При обследовании электрических сетей с целью определения показателей качества электрической энергии, построении графиков активной, реактивной и полной мощности, проверки приборов и систем учета, подбора фильтрокомпенсирующего оборудования, обнаружения потерь электроэнергии, а также исследования электрооборудования в переходных режимах применяется огромное количество приборов и измерительных систем специального назначения. На рынке измерительных приборов, как правило, преобладают зарубежные устройства сбора, анализа и регистрации параметров сети электроснабжения. В качестве примера можно привести анализаторы сети таких фирм как Fluke, METREL, GOSSEN-METRAWATT.

При разработке информационно-управляющей системы была использована среда LabVIEW, в основе которой лежит метод графического программирования при создании системы моделирования и разработке имитационной модели автоматизированного комплекса измерения и анализа параметров сети электроснабжения. Алгоритм функционирования имитационной модели сопряжен с устройствами сбора данных (УСД NI USB-6009).

Программное обеспечение (ПО) – драйверы, поставляемые со всеми измерительными устройствами производства NI. Модуль устройства сбора данных (Data Acquisition – DAQ) является полной библиотекой виртуальных приборов (ВП), инструментов и функций, которые можно вызывать из среды разработки приложений, чтобы реализовать все возможности измерительного устройства, связанные с конфигурацией, генерацией, сбором и пересылкой данных. ПО состоит из драйверов устройства сбора данных DAQ компании National Instruments и имитационных моделей (блок-диаграмм), созданных в программной среде LabVIEW.

Для программирования работы измерительных модулей сбора данных в системе LabVIEW имеется большой набор готовых виртуальных приборов (ВП), выполняющих определенные группы операций по низкоуровневому обслуживанию DAQ-модулей.

Действующее значение несинусоидального напряжения и тока определяется его среднеквадратическим (эффективным) значением за период T :

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}, \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1)$$

ВП рассчитывает среднее значение входной последовательности по формуле:

$$U_{MEAN} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i, \quad (2)$$

где N – число отсчетов в осциллограмме; U_i – значение отсчетов в осциллограмме.

Гармонический анализ выполняется так же несколькими функциями. При этом вычисляется амплитудный спектр и спектр мощности.

Анализатор гармонических искажений вычисляет амплитудный спектр сигнала и выполняет полный гармонический анализ, включая измерение тона основной частоты и ее гармоник. В результате анализа возвращается основная частота, все значения амплитуд гармоник и коэффициент нелинейных искажений. Задается наивысшая частота гармоник.

Измеренное значение коэффициента нелинейных искажений (КНИ) в диапазоне до высшей гармоники определяется как отношение среднеквадратического значения гармоник к амплитуде основного тона. Для вычисления в процентах его нужно умножить на 100%.

Амплитудный и фазовый спектр (Amplitude and Phase Spectrum) – ВП рассчитывает односторонний нормированный спектр входного сигнала и представляет его в виде амплитудного и фазового спектра. Для надежной оценки сигнал должен содержать минимум 3 периода.

ВП определяет единственное гармоническое колебание с наибольшей амплитудой или ищет определенный диапазон частот и возвращает частоту, амплитуду и фазу этого колебания.

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) является мерой содержания гармоник в том или ином периодическом сигнале. Рассчитывается он по формуле:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_1} \times 100\% \approx \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_{ном}} \times 100\%, \quad (3)$$

где U_n – действующее значение n -ой гармонической составляющей напряжения, В; n – порядок гармонической составляющей напряжения, N – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения, U_1 – действующее значение напряжения основной частоты, В; $U_{ном}$ – номинальное значение напряжения сети (реальные данные).

Для измерения активной мощности необходимо вычислить произведения мгновенного значения напряжения и тока (аналоговые осциллограммы, поступающие в компьютер с устройства ввода данных через DAQ Assistant) и вычислить среднее значение за период с помощью функций Cycle Average and RMS 1 chan, Mean VI или Basic Averaget DC-RMS, используемые при разработке имитационной модели.

Таким образом, активная мощность несинусоидального тока равна сумме активных мощностей отдельных гармонических:

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} P_k \quad (4)$$

Аналогично для реактивной мощности можно записать:

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} Q_k = \sum_{n=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k \quad (5)$$

Полная мощность

$$S = UI = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2 \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \neq \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (6)$$

где D – мощность искажений, определяемая произведениями действующих значений разнопорядковых гармонических тока и напряжения.

Для несинусоидальных токов и напряжений коэффициент мощности K_p определяется отношением активной мощности P к полной мощности S , определенных по вышеприведенным зависимостям:

$$K_p = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} P_k}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_N^2} \times \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_N^2}} \quad (7)$$

Частота переменного тока определяется функцией извлечения информации о единственном гармоническом сигнале (Extract Single Tone Information VI) или экспресс вычислительным прибором (Tone Measurements – измерение гармонического колебания) – определяется гармоническое колебание с наибольшей амплитудой или производит поиск такого колебания в заданном диапазоне частот (как центр тяжести спектра). Для найденного колебания могут быть определены такие параметры как частота и фаза.

Несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями, которые представлены в программе, следующими имитационными моделями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Для исследования несинусоидальных токов и напряжений в среде LabVIEW была использована палитра электрических измерений (Electrical Power Measurement – EPM). Палитра EPM представляет собой набор функций для определения мощности, таких как коэффициент мощности, активная, реактивная и полная мощность, корень среднеквадратичное значение и угол сдвига фаз. Данные показатели определяются как значения, усредненные на временном интервале (3 с).

Нормально допустимое и предельно допустимое значения обоих коэффициентов несимметрии напряжений равны соответственно 2 и 4 %. Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности имеет смысл только для четырех проводных электрических сетей 0,4 кВ.

Для вычисления коэффициентов несимметрии должны быть определены действующие значения напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности. Эти напряжения (токи) могут быть определены двумя методами: симметричных составляющих и вычисления по действующим значениям междуфазных напряжений.

Углы между напряжением и током определяются с помощью виртуального прибора, разработанного NI и входящего в палитру Electrical Power. В данной палитре приборов имеется так же счетчик активной, реактивной и полной энергии и мощности. Также в палитру входят модули определения действующих значений напряжений и токов как для однофазных, так и трехфазных сетях электроснабжения.

Информационная модель информационно-управляющей системы поддержки принятия решений (ИУСППР) оператором для идентификации ПКЭ, состоящая из ряда имитационных моделей приведена на рис. 1.

Имитационные модели разработаны для определения следующих ПКЭ:

- действующих значений напряжений и тока, частоты основной гармоники сетевого напряжения;
- потребленной активной, реактивной и полной электроэнергии;
- коэффициента мощности;

- фазового сдвига между напряжением и током в каждой фазе. Построение векторных диаграмм;
- гармонических составляющих токов и напряжений в интервале до 50-й гармоники;
- коэффициента нелинейных искажений по напряжению и току;
- несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности.

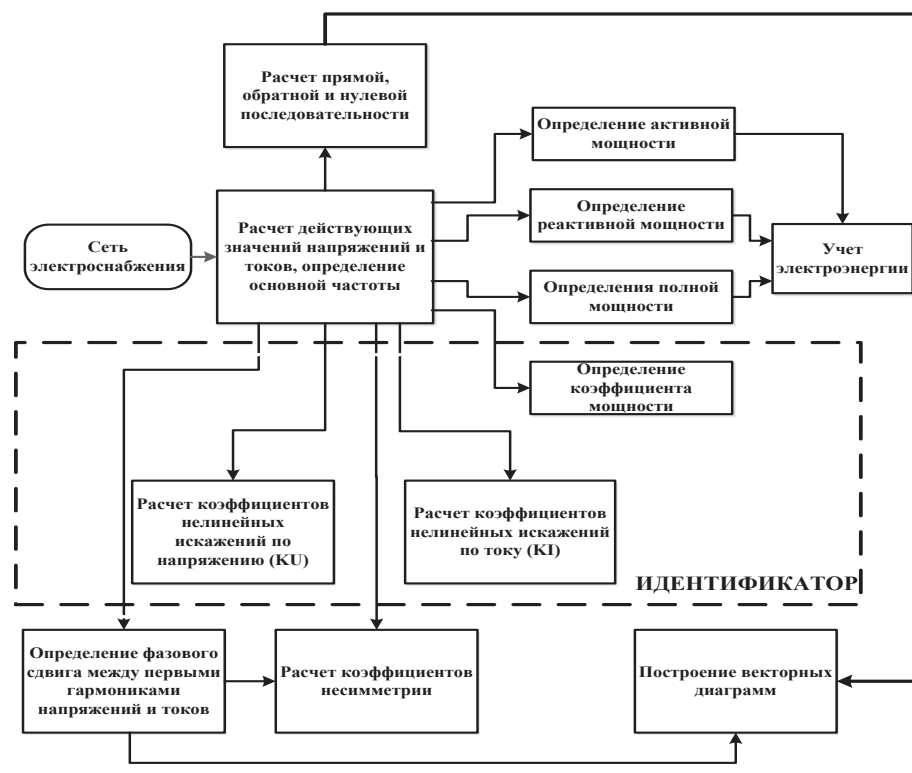


Рис. 1. Информационная модель ИУСППР

На рис. 2 показана общая блок-диаграмма информационной системы поддержки принятия решений, состоящая из ряда имитационных моделей и входящих в них функций, которые были описаны выше.

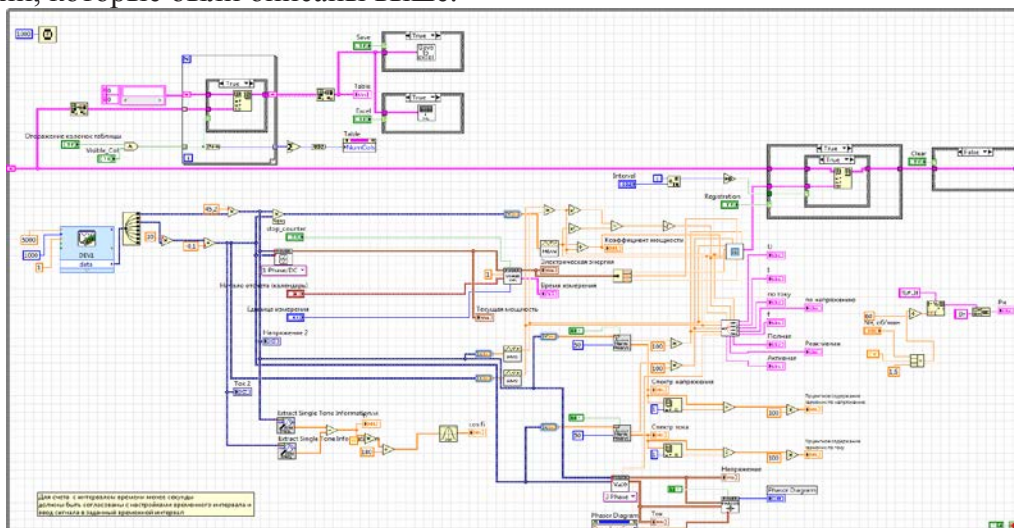


Рисунок - 2. Блок-диаграмма имитационной модели

На имитационной модели поддержки принятия решений (рис. 3) показано потребляемое напряжение и ток из трехфазной сети асинхронным двигателем со следующими параметрами $U_n = 380$ В, $I_n = 2,4$ А, общей мощностью 0,75 кВт.

Поэтому если система электроснабжения носит индуктивный характер, необходимо использовать компенсационные установки, о чем свидетельствует всплывающее диалоговое окно. Система определяет необходимую реактивную составляющую для выбора компенсирующих устройств.

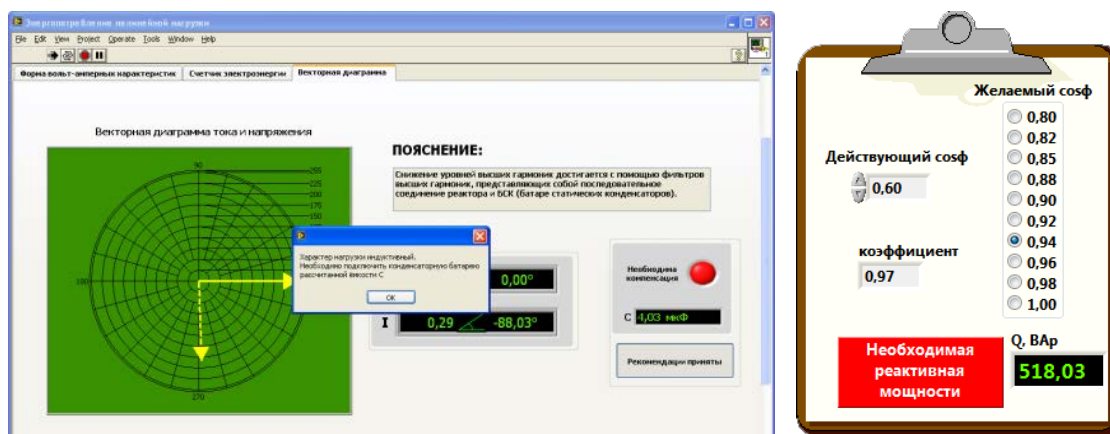


Рисунок - 3. Имитационная модель поддержки принятия решений для определения реактивной мощности

При расчете компенсационных устройств реактивной мощности для производственных помещений используется база технологических знаний системы, из которой оператору предоставляется необходимые данные для возможной коррекции коэффициента мощности.

Весь процесс расчета необходимой реактивной мощности разделен на этапы: сбор и определение реактивной мощности системы электроснабжения в реальном времени; поиск элемента в массиве базы знаний реактивных составляющих, автоматический подбор коэффициента и расчет реактивной мощности для конденсаторной установки.

С использованием разработанных имитационных моделей поддержки принятия решений выполнено обследование асинхронных электродвигателей, корпоративных информационных систем. Опыт внедрения различных видов конденсаторных установок и фильтров гармоник показывает, что использование компенсирующих устройств различной конфигурации является оптимальным решением большинства проблем качества электроснабжения на электроподстанциях и предприятиях. Если система электроснабжения носит индуктивный характер, необходимо использовать компенсационные установки. Этот вывод важен при принятии решения энергетиком при расчете компенсационных устройств реактивной мощности для производственных помещений.

Выводы

Таким образом, с использованием методов графического программирования разработанные модели трехфазной системы электроснабжения используются для

прогнозирования и анализа отраслевых параметров сети электроснабжения. Эти же имитационные модели могут интегрироваться с платами сбора данных уже для реального оценивания параметров сети электроснабжения с практически с минимальным изменением программного кода, что важно для быстрой конфигурацией системы на объекте электроэнергетики.

Литература

1. National Instruments Data Acquisition and Signal Conditioning Course Manual. 2008. — С. 251.
Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. — М. : ЭНАС, 2009. — 456