

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. А. Довгун

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

В современных условиях решение проблемы повышения качества электроэнергии стало возможно на новом техническом уровне. Созданы аппаратные средства измерения показателей и разработана система учета и контроля качества электрической энергии. На всех уровнях управления режимами в энергосистемах активно внедряются интеллектуальные автоматизированные системы диспетчерского управления на базе современных средств информационной и компьютерной техники. В связи с этим актуальное значение приобретает разработка эффективных методов и компьютерных программ расчета показателей качества электроэнергии [1].

Расчеты показателей качества (уровней высших гармоник) в сетях предприятия, отличающихся сложной конфигурацией и содержащих значительное количество элементов, практически возможны только при применении ЭВМ.

Для реализации расчета высших гармоник в системах электроснабжения промышленных предприятий в среде Delphi была разработана программа «Sigma», позволяющая выполнять расчеты несинусоидальности токов и напряжений в системах электроснабжения и коэффициента несинусоидальности напряжения, источником тока высших гармоник которых является вентильный преобразователь (6-, 12-пульсный), а также любой другой источник, задающийся амплитудой и углом каждой гармоники. Главное окно программы представлено на рис. 1.

номер	узел 1	узел 2	Элемент

номер	Источник ВГ

номер	v

Рис. 1. Главное окно программы

Исходные данные для расчета высших гармоник: схема замещения системы электроснабжения предприятия; сведения о параметрах элементов системы электроснабжения; сведения о режимах работы и параметрах источников высших гармоник.

Расчет производится для канонических гармоник ($\nu = 5; 7; 11; 13; \dots$). Если в системе электроснабжения имеются преобразователи только с 6-пульсной схемой выпрямления, то производится расчет для восьми гармоник ($\nu = 5; 7; 11; 13; 17; 19; 21; 25$). При наличии только преобразователей с 12-пульсной схемой выпрямления расчет производится для четырех гармоник ($\nu = 11; 13; 23; 25$).

Алгоритм расчета программы основан на методе узловых потенциалов [2], который реализуется следующим образом:

1. Для существующей системы электроснабжения промышленного предприятия составляется схема замещения для расчета токов высших гармоник. Схема замещения составляется на одну фазу и имеет нейтраль, к которой присоединяются нулевые точки схем замещения генераторов, обобщенных нагрузок, двигателей, батарей конденсаторов и емкостных проводимостей кабельных и воздушных линий большой протяженности (рис. 2).

Вентильные преобразователи и другие источники гармоник замещают источниками токов высших гармоник бесконечной мощности. Если к одной секции (системе шин) подключено несколько источников высших гармоник, то производится их эквивалентирование.

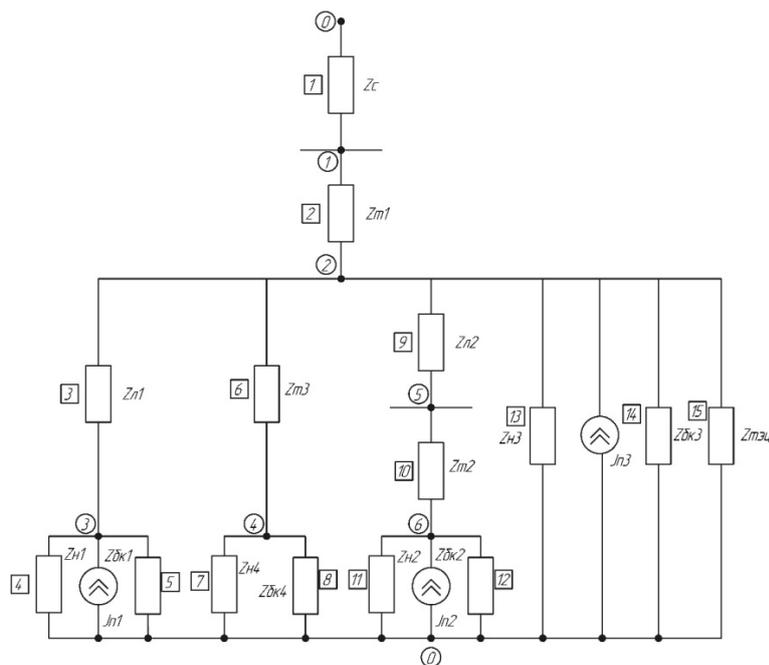


Рис. 2. Схема замещения системы электроснабжения предприятия

2. Производится расчет параметров схем замещения элементов систем электроснабжения для каждой гармоники. Количество гармоник, для которых рассчитываются параметры схем замещения, определяется в соответствии с исходными данными о типе источника высших гармоник.

3. Определяется спектральный состав токов источников высших гармонических составляющих.

4. По заданной информации (парам узлов и сопротивлений для каждой ветви схемы замещения сети) формируется матрица проводимостей узлов $[Y]$ и комплексная столбцовая матрица эквивалентных узловых токов источников высших гармоник $[J_{\nu n}]$.

Диагональный элемент Y_{ij} равен сумме проводимостей тех ветвей, которые инцидентны узлу схемы. Недиагональный элемент Y_{ij} равен проводимости ветви, соединяющей узлы i и j схемы, взятой с противоположным знаком.

5. Решается система узловых уравнений в матричной форме для ν -х гармоник:

$$|Y_{ij}| \cdot |\varphi_{\nu i}| = |I_{\nu i}|. \quad (1)$$

6. Определяется эквивалентное значение напряжения ν -й гармоники в i -м узле схемы:

$$U_{\nu i} = \sqrt{|\varphi_{\nu i}|^2}. \quad (2)$$

7. По результатам расчета эквивалентных значений гармоник напряжения в узлах определяются коэффициенты несинусоидальности напряжения.

8. Рассчитывается действующее значение токов ν -й гармоники в ветвях схемы замещения:

$$I_{\nu i} = \frac{\sqrt{|\varphi_{\nu i} - \varphi_{\nu j}|^2}}{Z_{\nu i}}. \quad (3)$$

9. Определяется эквивалентное значение токов высших гармоник в ветвях схемы замещения:

$$I_{\Sigma i} = \sqrt{\sum_{\nu=1}^n I_{\nu i}^2}. \quad (4)$$

Результаты расчета программы «Sigma» приведены на рис. 3.

№ узла	узел 1	узел 2	узел 3	узел 4	узел 5	узел 6
5	0,000	0,000	0,007	0,007	0,001	0,032
7	0,000	0,000	0,008	0,008	0,000	0,015
11	0,000	0,001	0,019	0,020	0,002	0,002
13	0,001	0,003	0,051	0,066	0,012	0,002
17	0,000	0,001	0,007	0,013	0,004	0,001
19	0,000	0,001	0,004	0,011	0,004	0,001
23	0,001	0,005	0,005	0,026	0,016	0,001
25	0,000	0,002	0,003	0,009	0,007	0,000
Узв	0,001	0,006	0,056	0,077	0,022	0,035

№	Кнс
узел 1	0,14
узел 2	0,64
узел 3	5,63
узел 4	7,69
узел 5	2,20
узел 6	3,55

№ ветви	ветвь 1	ветвь 2	ветвь 3	ветвь 4	ветвь 5	ветвь 6	ветвь 7	Иэв
5	0,000	0,000	0,035	0,000	0,005	0,000	0,000	0,035
7	0,000	0,000	0,030	0,000	0,008	0,000	0,000	0,030
11	0,000	0,000	0,043	0,000	0,031	0,000	0,000	0,043
13	0,001	0,002	0,097	0,001	0,099	0,001	0,000	0,097
17	0,000	0,000	0,013	0,000	0,018	0,000	0,000	0,013
19	0,000	0,000	0,008	0,000	0,012	0,000	0,000	0,008
23	0,001	0,001	0,011	0,000	0,017	0,000	0,000	0,011
25	0,000	0,001	0,005	0,000	0,011	0,000	0,000	0,005
Иэв	0,001	0,002	0,117	0,001	0,108	0,001	0,000	0,117

Рис. 3. Результаты расчета программы «Sigma»

Программа выводит полученные результаты расчета высших гармоник в относительных единицах в виде таблиц: таблицы действующих значений напряжения каждой гармонической составляющей в узлах схемы, а также их эквивалентное значение; таблицы коэффициентов несинусоидальности кривой напряжения в узлах схемы; таблицы действующих значений тока каждой гармонической составляющей в ветвях схемы, а также их эквивалентное значение.

Л и т е р а т у р а

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Гераскин, О. Т. Применение вычислительной техники для расчета высших гармоник в электрических сетях / О. Т. Гераскин, В. В. Черепанов. – М. : ВИПКЭнерго, 1987. – 53 с.