УДК 622.245

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, *д-р техн. наук, профессор, zagrivniy@yandex.ru*
Д.А.УСТИНОВ, *канд. техн. наук, доцент, bescheiden@rambler.ru*
В.И.МАЛАРЕВ, *канд. техн. наук, доцент, malarev@ yandex.ru*
Е.Е.ВАСИЛЬЕВА, *инженер, 328-82-67*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

E.A.ZAGRIVNY, *Dr. in eng. sc., professor, zagrivniy@yandex.ru*
D.A.USTINOV, *PhD in eng. sc., associate professor, bescheiden@rambler.ru*
V.I.MALAREV, *PhD in eng. sc., associate professor, malarev@ yandex.ru*
E.E.VASILIEVA, *engineer, 328-82-67*
Saint Petersburg State Mining University

ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ЗАБОЙНЫХ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Рассмотрены основные способы управления мощностью, передаваемой нагревательному элементу забойных электротермических устройств. Проведено исследование влияния работы нагревательного элемента на качество электроэнергии в распределительных сетях.

***Ключевые слова*:** добыча высоковязкой нефти, термические технологии добычи, паронефтяной фактор, забойные электротермические устройства, забойный скважинный электронагреватель, фазовое управление, целочисленное управление, субгармонические составляющие.

THE ELECTROTHERMAL COMPLEXES INFLUENCE ON QUALITY OF THE ELECTRIC POWER IN THE ISOLATED AND DEAFLY EARTHED NEUTRAL NETWORKS

The basic ways of control of power, transferred to a heating element of coal-face electrothermal devices are considered. Research of influence of work of a heating element on quality of the electric power in distributing networks is carried out.

***Key words*:** extraction oil of high viscosity, thermal technologies of extraction, steam-oil factor, face electrothermal devices, face well electroheater, phase management, integer management, subharmonic components.

Рассмотренный в работах [1,2] электротермический комплекс на основе скважинного электродного нагревателя, предназначенный для теплового воздействия на продуктивный пласт высоковязкой нефти, позволяет выполнять технологические операции по паротепловому (ПТВ), импульсно-дозированному тепловому (ИДТВ) и термогидродинамическому воздействию (ТГВ) на призабойную зону пласта. Скважинный электродный нагреватель получает питание от однофазного источника переменного напряжения. Система управления процессом термического воздействия предполагает регулирование тока скважинного нагревателя с помощью однофазного тиристорного регулятора. Величина тока контролируется с помощью внутренней обратной связи по току.

Управление мощностью, передаваемой нагревательному элементу, сводится к управлению группами тиристоров, включенных встречно-параллельно, или симисторами. Существуют два варианта управления:

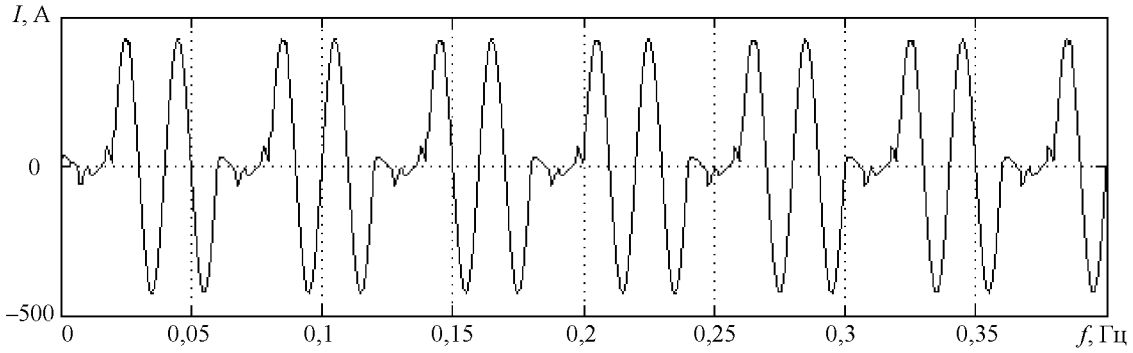


Рис.1. Ток нагревательного элемента при целочисленном управлении ($N = 2$, $M = 3$)

1) фазовое управление – формирование каждого периода кривых напряжения и тока нагревательного элемента посредством управления углом открытия тиристоров;

2) целочисленное управление – регулирование мощностью путем исключения целых периодов напряжения и тока.

Фазовый способ управления подходит для любых типов нагрузки, обеспечивает плавность и непрерывность выходного сигнала; позволяет поддерживать минимальное отклонение температуры в комплекте с ПИД-регулятором. К его недостаткам можно отнести высокую стоимость и генерацию помех при переключении.

Для целочисленного способа управления током характерны низкая стоимость аппаратуры управления, простая структура управления, отсутствие помех, создающихся третьей гармоникой при включении [3]. К его недостаткам можно отнести значительные разрывы в выходном сигнале, нестабильная мощность для потребителей с низкой нагрузкой, применение только для потребителей с постоянной резистивной нагрузкой.

Полный период управления включает N циклов проводимости (количество периодов напряжения питания за время прохождения тока через нагревательный элемент) в рамках целого числа циклов M (количество периодов напряжения питания в полном цикле регулирования). Величина средней мощности, подводимой к нагрузке, регулируется посредством регулирования величины соотношения N/M. В качестве основы для проведения анализа Фурье (гармонического анализа) период повторяемости формы кривой тока или напряжения необходимо принять равным Mf, где f – частота напряжения питания. На рис.1 показан ток нагревательного элемента при целочисленном управлении при $N = 2$, $M = 3$, выходное напряжение при этом составляет $U_{вых} = 67$ %.

Данный тип управления является источником появления субгармоник и промежуточных гармоник, однако не является источником высших гармоник – основной составляющей сигнала [4]. Спектр сигнала тока, характеризующий данный случай, представлен на рис.2. Как видно из рисунка, основными составляющими сигнала являются гармоника частоты напряжения питания и субгармоника с частотой $(2f)/3$.

Рассмотрим влияние работы нагревательного элемента на качество электроэнергии в распределительных сетях 35 кВ при изолированном режиме нейтрали и 110 кВ при глухозаземленной нейтрали. Нагрузка во вторичной цепи трансформатора представляет активное сопротивление $P = 4$ МВт. Регулирование нагрузки производим фазовым и целочисленным способами только в фазе A, при этом объем регулируемой нагрузки в этой фазе составляет 4 МВт (100 % нагрузки). При фазовом управлении угол управления α имеет следующие значения: 18° (90 % выходного напряжения); 45° (75 % выходного напряжения), 90° (50 % выходного напряжения) и 135° (25 % выходного напряжения). При целочисленном управлении параметры M и N имеют следующие значения: $M = 10$ и $N = 5$ (50 % выходного напряжения).

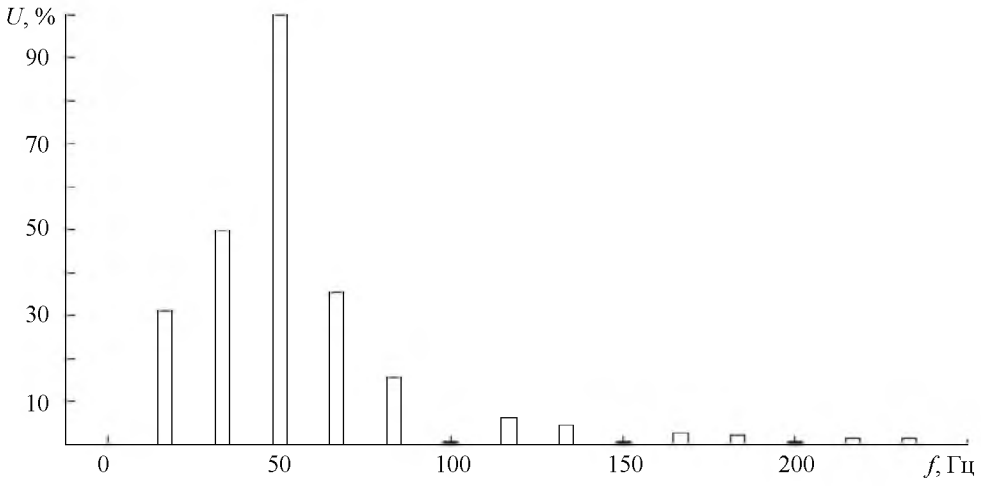


Рис.2. Спектр сигнала тока при целочисленном управлении ($N = 2, M = 3$)

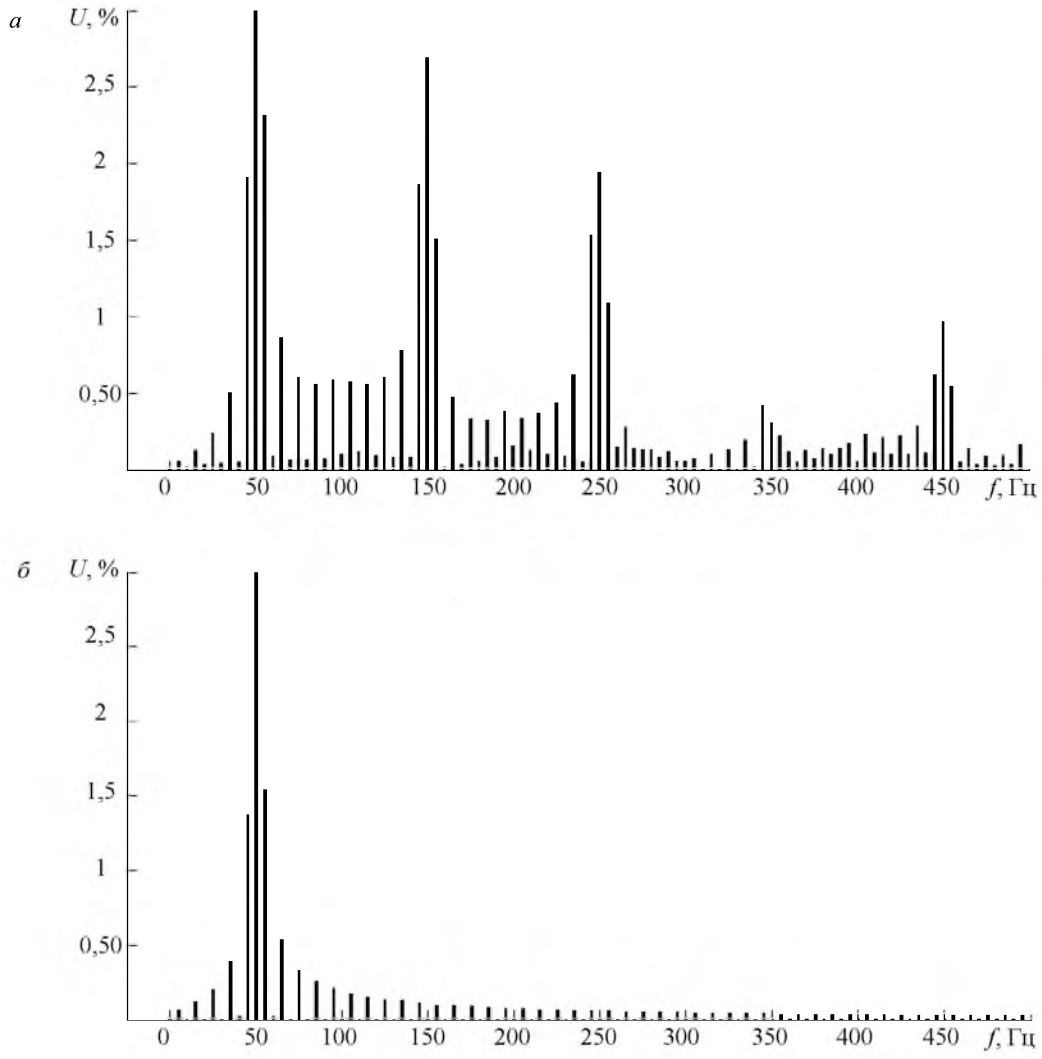


Рис.3. Спектр сигнала напряжения при целочисленном управлении ($N = 5, M = 10$) в случае изолированного (*а*) и глухозаземленного (*б*) режима нейтрали

Характеристика гармонических составляющих линейного напряжения U_{AB} при различных значениях выходного напряжения

Выходное напряжение, %	Величина гармонической составляющей, %				
	1-я	3-я	5-я	7-я	9-я
90	100	0,93	1,37	1,62	1,70
75	100	3,65	4,05	3,03	2,15
50	100	5,34	3,78	3,15	2,58
25	100	5,24	2,74	2,13	2,89

Примечание. Фазовое управление, величина регулируемой части нагрузки 100 %, U_{AB} = 35 кВ

При целочисленном управлении (см. таблицу), при величине регулируемой части нагрузки 25 и 50 %, при различных значениях выходного напряжения отсутствуют гармонические составляющие линейного напряжения U_{AB} на стороне 35 кВ, кратные 50 (кроме основной), однако присутствуют нечетные субгармонические составляющие на частотах, кратных пяти. Их величины не превышают 0,9 % от основной частоты. При увеличении доли регулируемой части нагрузки в фазе в случае целочисленного способа управления на высшей стороне трансформатора появляются нечетные гармоники, кратные 50. На рис.3, *а* показан спектральный состав линейного напряжения U_{AB} на стороне 35 кВ при целочисленном управлении, величина регулируемой части нагрузки 100 %.

На рисунке видно присутствие нечетных гармонических составляющих кратных 50. Их величина достигает: для 3-й гармоники (150 Гц) более 2,5 %, для 5-й (250 Гц) – около 2 %, для 7-й (350 Гц) – около 0,5 %. Кроме названных гармонических составляющих в спектральном составе присутствуют нечетные субгармонические составляющие кратные пяти на всем представленном диапазоне частот. Это можно объяснить тем, что при использовании изолированного режима нейтрали на высокой стороне питающего трансформатора, регулировании большой нагрузки в одной фазе *A* (75 и 100 %), в нерегулируемых фазах *B* и *C* происходят скачки напряжения. Поскольку в моделировании использованы модели трансформатора с учетом сопротивлений обмоток и насыщения в магнитопроводе, а также трехфазного источника электроэнергии, обладающего внутренним сопротивлением, произошло искажение напряжения на высокой стороне и появление нечетных гармонических составляющих кратных 50.

При использовании на высокой стороне глухозаземленного режима нейтрали (U_{AB} = = 110кВ), целочисленном управлении и регулировании большой нагрузки в одной фазе *A* (75 и 100 %), в нерегулируемых фазах *B* и *C* скачки напряжения будут отсутствовать (рис.3, *б*). Изменение напряжения в регулируемой фазе будет скомпенсировано благодаря применяемому режиму нейтрали.

Выявлено, что появление нечетных гармоник, кратных 50, является причиной применения изолированного режима нейтрали на высшей стороне трансформатора, использования модели трансформатора с учетом сопротивлений обмоток и насыщения в магнитопроводе, а также трехфазного источника электроэнергии, обладающего внутренним сопротивлением. Отметим, что при применении глухозаземленного режима нейтрали на высшей стороне питающего трансформатора, при фазовом управлении амплитуды гармонических составляющих меньше, чем соответствующие амплитуды гармонических составляющих с изолированным режимом нейтрали на высшей стороне питающего трансформатора.

Показано, что при глухозаземленном режиме нейтрали на высшей стороне питающего трансформатора, целочисленном регулировании в спектральном составе линейного напряжения присутствуют только нечетные субгармонические составляющие кратные пяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Загривный Э.А.* Электротермический комплекс на основе скважинного электродного нагревателя мощностью более 500 кВт для теплового воздействия на продуктивный пласт высоковязкой нефти / Э.А.Загривный, А.Е.Козярук, С.Н.Батаев // Электротехника. 2003. № 5.

2. *Загривный Э.А.* Электротермическое воздействие на продуктивный пласт высоковязкой нефти с помощью комбинированного забойного теплогенератора / Э.А.Загривный, В.И.Маларев, Е.Е.Мельникова // Материалы конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». М., 2008.

3. *Збигнев Ханзелка.* Управление целочисленными периодами тиристорных переключателей / Збигнев Ханзелка, Анжей Бьень. // Энергосбережение. 2005. № 6.

4. *Шахматов С.П.* Низкочастотные помехи: качество напряжения тоже можно измерить // Силовая электроника. 2004. № 4.

REFERENCES

1. *Zagrivniy E.A., Kozjaruk A.E., Bataev S.N.* Eelectrothermal complex on a basis tube electrode heater capacity more than 500 kW for thermal influence on a productive layer heave oil // Electrical engineer. 2003. N 5.

2. *Zagrivniy E.A., Malarev V.I., Melnikova E.*E. Eelectrothermal influence on a productive layer heave oil with the help combined heater // Materials of conference «Science and the newest technologies by searches, investigation and development of deposits of minerals». Moscow. 2008.

3. *Zbignev Hanselka, Angei Ben.* Management of the integer periods thiristor switches. Powersawe. 2005. N 6.

4. *Shakhmatov S.P.* Low-frequency of a handicap: to measure the quality of a votage is possible // Power electronics. 2004. N 4.