

при $N > 10$ разница между значениями этих коэффициентов минимальна. Это связано с тем, что при больших N гармонические составляющие входных фазных токов и переменная составляющая выходного напряжения одной секции существенно меньше относительно суммарных составляющих входного тока и постоянной составляющей выходного напряжения источника соответственно. Следовательно, влияние этих составляющих в параметрах одной нечетной секции при больших N несущественно. Значит, чем больше степень секционирования рассмотренной структуры источника питания, тем лучше его характеристики коэффициента гармоник входного тока и коэффициента пульсаций выходного напряжения.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Секционированная структура источника электропитания позволяет поддерживать стабильность напряжения на нагрузке при изменении тока нагрузки и входного напряжения. Размер области стабилизации при этом составляет величину, равную напряжению на выходе одной секции.

2. Отличие значений коэффициента гармоник входного тока и коэффициента пульсаций выходного напряжения при четном и нечетном количестве работающих секций незначительно и им можно пренебречь, если общее количество этих секций достаточно велико ($N > 10$).

3. Секционированная структура источника позволяет дискретно, пошагово изменять выходное напряжение источника, что позволяет формировать заданную крутизну фронта нарастания вы-

ходного напряжения после пробоев в нагрузке и одновременно по характеру нарастания выходного напряжения диагностировать работоспособность каждой секции источника.

4. Внутренние параметры трансформатора неоднозначно влияют на показатели качества энергии на входе и выходе источника питания, так как с увеличением индуктивности рассеяния трансформатора возрастает нестабильность выходного напряжения, но уменьшается коэффициент гармоник входного тока. Поэтому при проектировании подобных систем питания необходимо искать компромиссные решения.

1. Завьялов М.А., Лукьянов Л.А., Мурашов А.С. и др. Электронная пушка мощностью 500кВт // Приборы и техника эксперимента. — 1980. — №2. — С. 223.

2. Перевозчиков В.И., Григорьев Ю.В., Гусев С.И. и др. Электронно-лучевое оборудование для металлургии и модификации поверхности // Электротехника. — 1992. — №1. — С. 34—39.

3. Руденко Ю.В. Показатели качества электроэнергии на входе и выходе секционированного высоковольтного источника электропитания для электротехнологий // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. — 2008. — № 19. — С. 99—105.

4. Трансформаторы силовые общего назначения напряжением до 35 кВ включительно. / Техн. справочник, часть 2. — М.: ВНИИ Стандартэлектро, 1990. — 144 с.

5. Чайка Н. К. Блок смещения и питания катода электронно-лучевой сварочной пушки с использованием инверторных преобразователей // Автоматическая сварка. — 2007. — №7. — С. 40—43.

Надійшла 02.07.20и08

УДК 621.314

КОМАРОВ Н.С., докт.техн.наук (Ин-т электродинамики НАН Украины, Киев)

Устройства электропитания мощных дуговых нагревателей для установок газификации отходов

Рассматриваются структуры устройств электропитания дуговых нагревателей постоянного тока (плазмотронов) мощностью 0,5—1 МВт, используемых в установках газификации для переработки торфа, сланцев, бурого угля, промышленных и бытовых отходов. Обоснована перспективная структура и выполнена оценка основных показателей устройства электропитания.

Розглядаються структури пристроїв електроживлення дугових нагрівачів постійного струму (плазмотронів) потужністю 0,5—1 МВт, що використовуються в установках газифікації для переробки торфу, сланців, бурого вугілля, промислових і побутових відходів. Обґрунтовано перспективну структуру і виконано оцінку основних показників пристрою електроживлення.

© Комаров Н.С., 2009

Одной из наиболее перспективных и экологически чистых технологий переработки отходов является их газификация при повышенной температуре, около 1500—2000 °С [1,2,5,10,14]. Достоинство данной технологии в том, что она не требует предварительной сортировки отходов, обеспечивает глубокое разложение органики, а продуктами переработки являются металл, инертный шлак и синтез-газ, теплотворная способность которого зависит от состава отходов и может достигать 30—35 % теплотворной способности природного газа. Подобная технология применима и к переработке торфа, сланцев, бурого угля, сточных вод, химически опасных и радиоактивных отходов. В отличие от сжигания топлива при более низких температурах, при такой технологии обеспечивается глубокое разложение сложных хлоросодержащих органических соединений, что значительно снижает уровень вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу. Так, эксперименты по уничтожению трансформаторного масла марки ТХБ (трихлор-бифенил) показали [13], что концентрация диоксинов/фуранов в синтез-газе не превышает $TEQ = 0,05 \text{ нг/м}^3$ при норме, установленной американским агентством по защите окружающей среды EPA — $0,1 \text{ нг/м}^3$.

В качестве нагревателей в таких установках применяются воздушные плазмотроны мощностью 0,5—1 МВт. При использовании выработанного синтез-газа для получения электроэнергии ее расходы на электропитание плазмотронов обычно не превышают 10—20 %, следовательно, переработка отходов по данной технологии не только не требует энергетических затрат, но и может рассматриваться как дополнительный источник тепловой и электрической энергии. Очевидно, что для Украины с ограниченными запасами природного газа, значительным накоплением промышленных отходов в индустриальных районах на востоке страны, бытовых отходов вблизи крупных городов и радиоактивных отходов в Чернобыльской зоне, широкое использование данной технологии представляет большой практический интерес.

Относительно выбора типа плазмотрона в настоящее время нет однозначного мнения. Так, в Исследовательском центре им. М.В. Келдыша

(Россия, Москва) созданы плазмотроны "Звезда", работающие от трехфазного переменного напряжения, в Международном научном центре по теплофизике и энергетике (Россия, Новосибирск) разработаны плазмотроны с жидкометаллическими электродами, в качестве которых используются ванны расплавленного металла в камере газификации. Однако, наиболее широкое применение получили плазмотроны постоянного тока, используемые в разработках Мос. НПО "Радон", Российского научного центра "Курчатовский институт", "Europlasma", "Westinghouse Plasma Co". В таких устройствах обеспечиваются наиболее стабильные условия поддержания дугового разряда. Единственным их недостатком является ограниченный ресурс сильнооточного катода, но при давлении в камере несколько ниже атмосферного процедура замены одного из плазмотронов не требует остановки технологического процесса и не приводит к вредным выбросам в атмосферу. Кроме того, использование композиционных термоэмиссионных материалов позволяет довести ресурс сильнооточных катодов до нескольких тысяч часов [4].

Практическая реализация установок для получения синтез-газа требует создания эффективных устройств электропитания мощных плазмотронов, обеспечивающих надежное возбуждение дугового разряда, устойчивую работу плазмотрона в широком диапазоне токов и скоростей воздушного потока, что делает дуговой нагреватель регулируемым и простым в эксплуатации. Простейшие схемы источников электропитания мощных плазмотронов постоянного тока показаны на рис. 1.

В первой схеме (рис. 1, а) осуществляется преобразование постоянного напряжения в переменное с последующей трансформацией и выпрямлением. Основное достоинство такого решения состоит в гальваническом разделении входной и выходной цепей источника и использовании трансформатора, работающего на повышенной частоте, что существенно снижает его металлоемкость. К недостаткам схемы следует отнести перенапряжения на выходном дросселе при срыве дуги и относительно невысокую эффективность источника, обусловленную большим числом звеньев в цепи

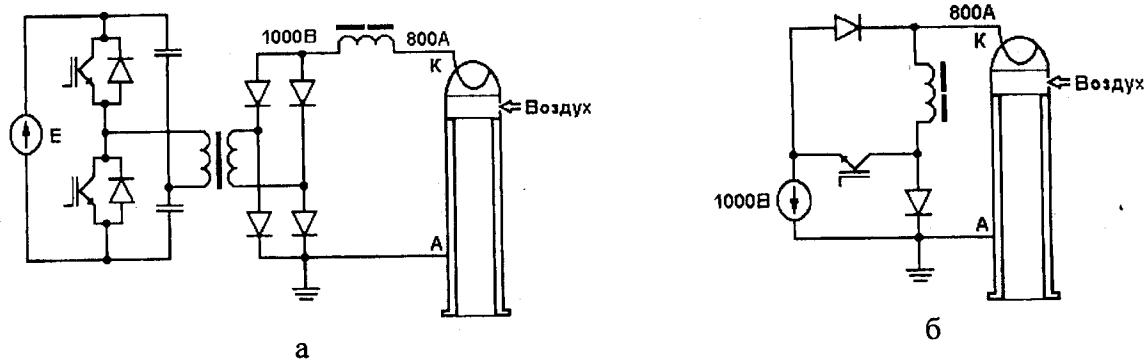


Рис. 1

преобразования параметров электроэнергии. В этой связи более эффективной является вторая схема (рис. 1, б), кроме того, в ней имеется цепь разряда выходного дросселя при срыве дуги. Обе схемы обеспечивают стабилизацию выходного тока на заданном уровне в широком диапазоне изменений сопротивления нагрузки за счет применения широтно-импульсной модуляции сигналов управления силовыми транзисторами.

Электропитание источников электропитания осуществляется от промышленной сети переменного тока, поэтому представляют интерес как показатели качества электроэнергии на его выходе, так и его влияние на процессы в питающей сети.

Процессы во входных цепях мощных неуправляемых выпрямителей при мощности нагрузки 0,5–1 МВт и наличии емкостного фильтра рассмотрены в [8], где показано, что искажения напряжения на вторичных обмотках распределительного трансформатора превышают допустимые нормы, установленные стандартом на качество электрической энергии в системах электропитания общего назначения (ГОСТ 13109-97). Использование дополнительных технических средств для снижения искажений приводит к усложнению и, соответственно, удорожанию устройства. Поэтому, как правило, электропитание подобного оборудования осуществляется от отдельного распределительного трансформатора: в этом случае гальваническое разделение входной и выходной цепей в источнике не требуется и теряются преимущества схемы, показанной на рис. 1, а. Использование отдельного трансформатора не только обеспечивает гальваническое разделение цепей и позволяет получить требуемый уровень входного напряжения источника, но и обеспечивает улучшение качества электроэнергии на его входе за счет использования 12-ти пульсовой схемы выпрямителя.

В обеих схемах, показанных на рис. 1, для достижения малого уровня пульсаций выходного тока требуется значительная индуктивность выходного дросселя, что ограничивает скорость нарастания тока при пуске плазмотрона и требует повы-

шения энергии импульсов поджига дугового разряда. Это обстоятельство и большая выходная мощность устройств определили повышенный интерес к многофазным импульсным регуляторам, где секционирование силовой части и введение фазового сдвига между импульсами управления секций позволяет распределить мощность между секциями и добиться снижения пульсаций выходного тока при малых индуктивностях дросселей, установленных в каждой секции [3].

С учетом изложенного схема устройства электропитания мощного плазмотрона, в наибольшей степени удовлетворяющая предъявляемым требованиям, показана на рис. 2.

Применение тиристоров в выпрямителе выполняет две функции. Во-первых, это ограничение пусковых токов предварительного заряда конденсаторов в цепях питания регулятора тока. И, во-вторых, это ограничение тока при аварийных режимах в устройстве электропитания. На этих интервалах времени тиристоры выключены. Регулятор тока представляет собой многофазный импульсный стабилизатор тока понижающего типа. Транзисторы в каждой секции управляются синхронно, при этом напряжения на емкостных делителях в каждой секции автоматически выравниваются [9]. Такое построение регулятора обеспечивает повышение допустимого входного напряжения, вдвое превышающего максимально-допустимое напряжение полупроводниковых приборов силовой части.

Представляют интерес технико-экономические показатели источника электропитания. Задачей настоящей работы является количественная оценка его показателей для плазмотрона с номинальным напряжением 700 В и током 800 А.

В качестве силового трансформатора рассматривался сухой трансформатор с литой изоляцией "Trihal", установленной мощностью 630 кВт, рассчитанный на работу от сети с напряжением 10 кВ и доработанными вторичными обмотками. Суммарные потери в таком трансформаторе при максимальной температуре не превышают 7,3 кВт или

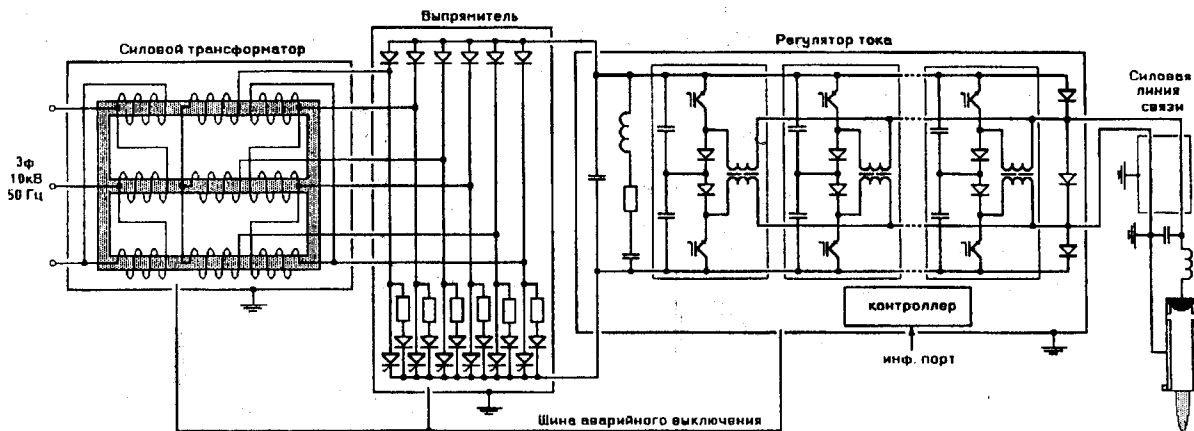


Рис. 2

1,5%. Поскольку выпрямитель работает в неуправляемом режиме, а суммарное падение напряжения на диоде и тиристоре не превышает 5 В, при выходном напряжении 1000 В потери в выпрямителе не превышают 0,5 %.

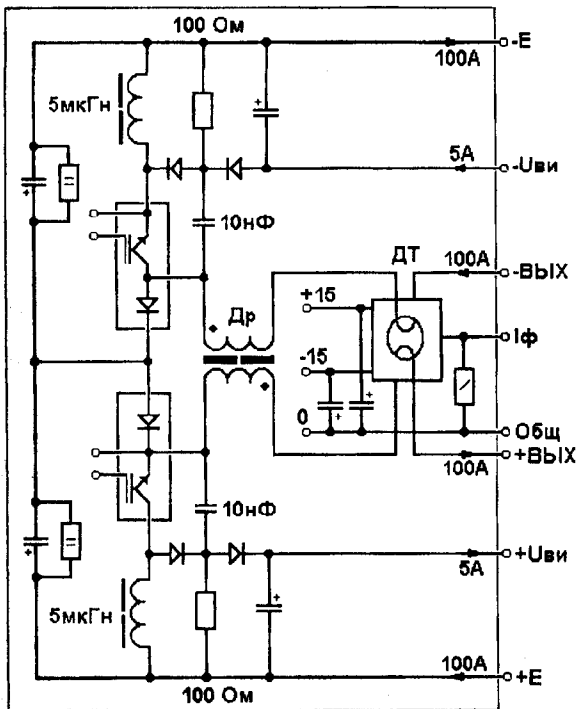
Для оценки потерь в регуляторе воспользуемся схемой силовой части одной из фаз (рис. 3, а). В этом устройстве для снижения динамических потерь использованы цепи формирования безопасной траектории переключений силовых транзисторов, причем энергия, запасаемая реактивными элементами этих цепей, передается через дополнительные (возвратные) инверторы во входную цепь регулятора. Расчетные эпюры токов и напряжений силового транзистора показаны на рис. 3, б.

Известно, что пульсации тока в выходном дросселе зависят от относительной длительности отпирающих импульсов $\gamma = T_i / T$ и достигают максимума при $\gamma = 0,5$. При суммарной индуктивности выходного дросселя $L = 0,625$ мГн, частоте импульсной модуляции 10 кГц и среднем значении тока $I_0 = 100$ А размах пульсаций тока ΔI составляет

$$\Delta I = E(1 - \gamma)\gamma T / L,$$

откуда $\Delta I = 40$ А, а максимальное и минимальное значения тока равны: $I_{MAX} = 120$ А, $I_{MIN} = 80$ А. На этапе проводящего состояния транзисторов ток и мгновенная мощность, рассеиваемая на транзисторе, определяются согласно выражений

$$i(t) = I_{MIN} + (I_{MAX} - I_{MIN})t / T_i,$$



а

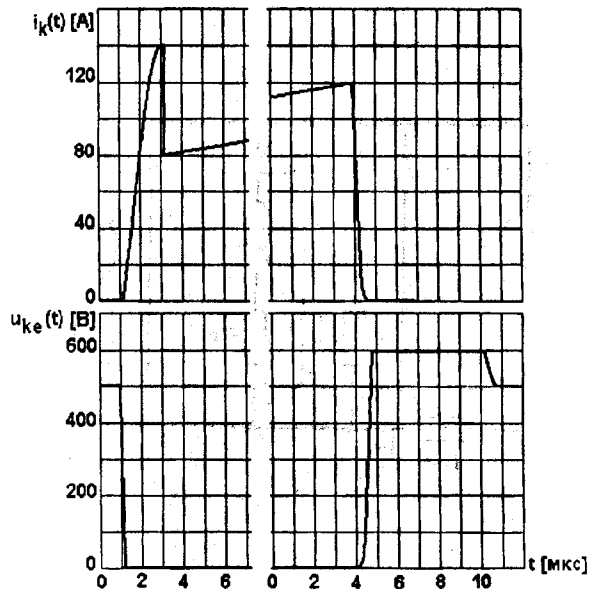
$$p(t) = [U_0 + r_{дин} \cdot i(t)] i(t),$$

где U_0 — напряжение отсечки и $r_{дин}$ — динамическое сопротивление, определяемые по статическим характеристикам, T_i — длительность проводящего состояния транзистора.

Определим мощность статических потерь как

$$P_{ст} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} p(t) dt = U_0 (I_{MIN} + I_{MAX}) / 2 + r_{дин} [I_{MIN} I_{MAX} + (I_{MAX} - I_{MIN})^2 / 3].$$

Для модулей IGBT типа SKM200GB128D компании "Semikron" $U_0 = 1$ В и $r_{дин} = 7,33 \cdot 10^{-3}$ Ом, откуда $P_{ст} = 175$ Вт. На стадии непереводящего состояния транзисторов падение напряжения на разделительных диодах меньше, чем на транзисторах, и потери снижаются, но для оценки максимально возможных потерь этим можно пренебречь. Несколько сложнее оценить величину динамических потерь. Формирование безопасной траектории переключений практически исключает перекрытие тока и напряжения на транзисторе, но это не означает отсутствие динамических потерь. Стационарное распределение концентрации носителей в объеме полупроводниковых приборов устанавливается не мгновенно, и после отпираания напряжение на внешних выводах транзистора превышает статическое. Аналогично, на стадии выключения ток коллектора спадает по экспоненциальному закону, что также создает дополнительное тепловыделение.



б

Рис. 3

Учет этих факторов приводит к повышению мощности потерь примерно на 50 %. Кроме того, необходимо учитывать потери в выходном дросселе, составляющие около 85 Вт. Поскольку в каждой фазе регулятора синхронно работает два транзистора, а таких фаз $N=8$, величина суммарной мощности потерь составляет около 4,9 кВт, т.е. потери в регуляторе не превышают 1 %.

Высокие значения коэффициентов полезного действия основных узлов источника позволяют обеспечить их нормальный температурный режим при принудительном воздушном охлаждении и не требуют более сложных систем отвода тепла.

Анализ качества электроэнергии на входе источника при применении 12-пульсного нерегулируемого выпрямителя проведен в [8], где показано, что при мощности 0,5 МВт обеспечивается коэффициент мощности на входе силового трансформатора не ниже 0,93 при коэффициенте гармоник фазного тока не более 20 %. При таких искажениях фазных токов гармоники напряжения питающей сети не превышают норм, установленных ГОСТ 13109-97.

Сложнее выполнить оценку качества электроэнергии на выходе регулятора. Величина пульсаций выходного тока многофазного импульсного регулятора характеризуется коэффициентом пульсаций K_p , выражение для которого получено в [3]

$$K_p = \frac{I_{MAX,N} - I_{MIN,N}}{I_{MAX,N} + I_{MIN,N}} \cdot 100\% = \frac{E \cdot T}{8 \cdot L \cdot I_0} \cdot \frac{100\%}{N^2},$$

где $I_{MIN,N}$, $I_{MAX,N}$ — минимальное и максимальное значения выходного тока многофазного регулятора.

Расчеты показывают, что при $N=8$, $E=1000$ В;

$T=100$ мкс, $I_0=100$ А и $L=0,625$ мГн величина коэффициента пульсаций составляет 0,3125 %, однако, реальные пульсации регулятора, нагруженного на плазмотрон, существенно выше, и их величина определяется нестационарным характером сопротивления плазмотрона. Учет этих факторов требует дополнительного анализа.

Сам по себе дуговой промежуток является нестационарной нагрузкой, но, кроме этого, для воздушных плазмотронов характерны периодические пробои между дуговым шнуром и стенкой камеры, вызывающие резкое сокращение длины шнура и, соответственно, напряжения на плазмотроне (эффект шунтирования) [7]. Затем, под действием электромагнитных и аэродинамических сил длина шнура постепенно восстанавливается до следующего пробоя. По оценке [6], скачкообразные провалы напряжения при шунтировании могут достигать 20–30 %.

Для анализа качества электроэнергии на выходе источника воспользуемся упрощенной моделью регулятора (рис. 4, а) при $E=1000$ В, $I_H=800$ А, $R_H=7/8$ Ом, $L=0,625$ мГн, $R_0=0,006$ Ом для восьмифазного регулятора ($N=8$) с рабочей частотой 10 кГц. Нестационарный характер сопротивления плазмотрона учтем выражением

$$R(t) = R_H (1 - d e^{-\alpha t}),$$

где $\alpha=10^4$, а $0 < d < 0,3$.

Характер переходных процессов, вызванных пробоями в нагрузке, зависит от структуры и параметров системы управления, показанной на рис. 4, б. Здесь обозначены: X_1-X_N — синхронизирующие импульсы, смещенные друг относительно друга на $1/8$ периода импульсной модуляции, I_1-I_N —

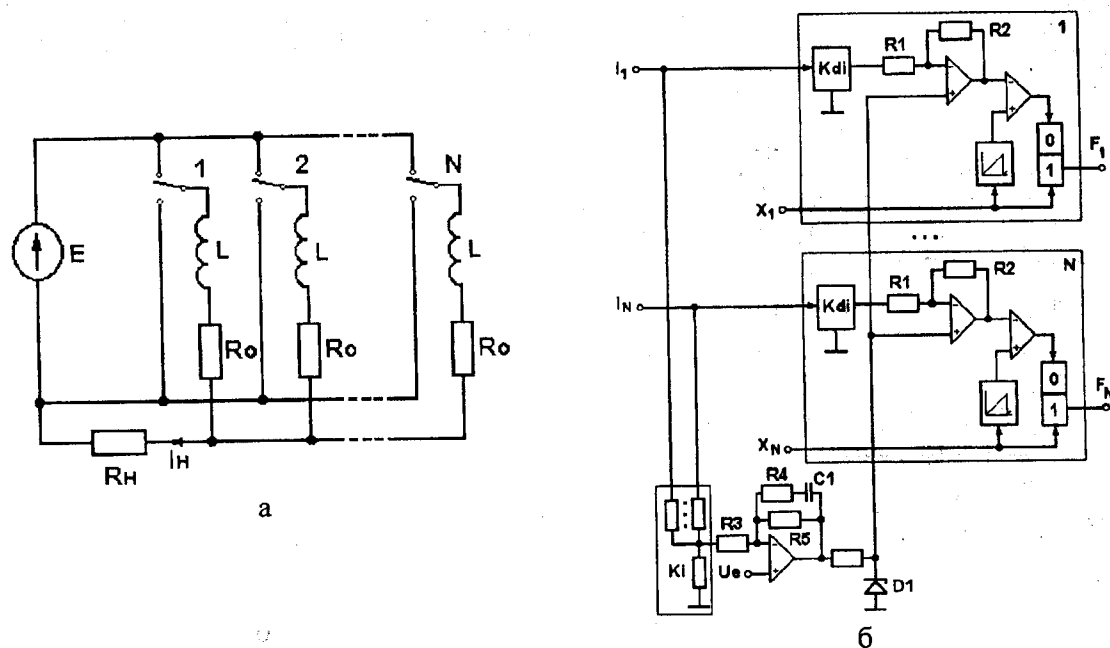


Рис. 4

сигналы, пропорциональные току дросселей соответствующих фаз, U_e — эталонное напряжение, задающее величину выходного тока регулятора, $F_1 - F_N$ — сигналы управления переключающими элементами регулятора.

Анализ проведем для следующих параметров системы управления: $R1=3k$, $R2=6k$, $R3=1k$, $R4=10k$, $R5=200k$, $C1=0,1$ мкФ, $Kdi=1/30$ — коэффициент передачи датчика тока дросселя, $K_i=1/800$ — коэффициент передачи сумматора фазных токов, U_M — амплитуда пилообразного синхронизирующего напряжения, $U_{огр}=6$ В — уровень напряжения ограничителя $D1$. Номинальное значение выходного тока $I_H=800$ А обеспечивается при эталонном напряжении U_e около 1 В.

Типичные эпюры переходного процесса для $d=0,2$ показаны на рис. 5, а, откуда видно, что всплески тока, вызванные пробоями в плазмотроне превышают более чем на порядок значение пульсаций выходного тока в стационарных режимах. Длительность переходных процессов не превышает 1 мс.

Зависимость относительного размаха пульсаций выходного тока от параметра d показана на рис. 5, б, откуда следует, что в пределах $d < 0,3$ величина всплесков тока не превышает 5% от выходного тока регулятора.

Таким образом, основные показатели устройства электропитания имеют следующие значения:

— на входе:

1. амплитуда пускового тока при включении источника — не более 9А;
2. коэффициент гармоник фазного тока — не выше 20%;
3. коэффициент мощности на входе — не ниже 0,93;

— на выходе:

1. нестабильность тока в стационарных режимах — не более 3%;
2. уровень пульсаций тока при постоянной нагрузке — не более 0,5%.

3. Всплески тока при скачках нагрузки до 30% — не более 5%.

4. максимальное напряжение участка токоограничения — 1000 В;

5. скорость нарастания тока при поджиге — не ниже 5 А/мкс;

6. исключены аварийные режимы при внезапном обрыве или коротком замыкании нагрузки.

Общие эксплуатационные показатели источника:

1. удельная стоимость на единицу мощности — около 0,1 \$/Вт.

2. коэффициент полезного действия — не ниже 0,97.

3. диапазон температур окружающей среды от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$;

4. управление осуществляется в ручном либо автоматическом режиме через порт RS485.

Основные технические решения по построению регуляторов тока прошли апробацию на установке Российского научного центра "Курчатовский институт" при длительной работе на плазмотрон мощностью 150 кВт [11].

Украина имеет достаточный потенциал для широкого использования установок получения синтез-газа. Опыт отечественной металлургии позволяет строить эффективные камеры газификации и дожигания, фильтры и теплообменники, т.е. практически все оборудование технологической установки. В Украине в Научно-производственном комплексе газотурбостроения "Заря—Машпроект" (г. Николаев) имеются возможности производства парогазовых установок для последующего сжигания синтез-газа и производства электроэнергии. В Институте электросварки НАН Украины им. Е.О. Патона имеется опыт создания плазмотронов, эти работы во времена СССР велись достаточно интенсивно. В Национальном аэрокосмическом университете "ХАИ" (г. Харьков) проводятся работы по созданию высокоресурсных мощных плазмотронов.

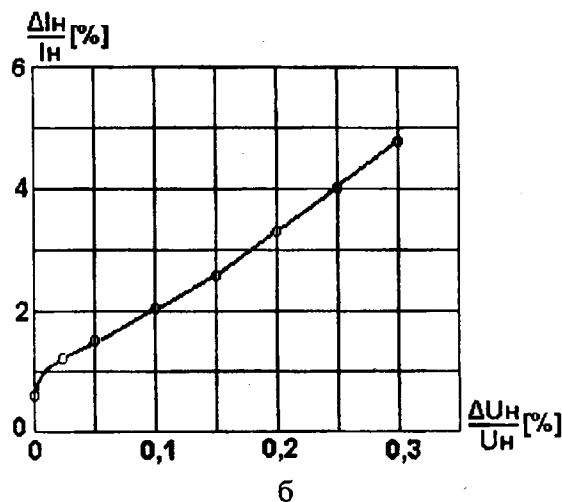
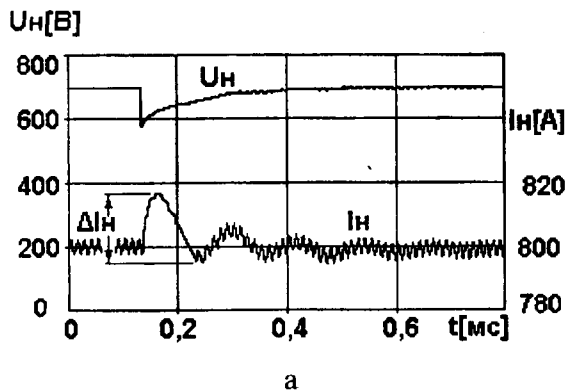


Рис. 5

В части электрооборудования мощные трансформаторы для сети 10 кВ производятся ВИТ (г. Запорожье) и ОАО "Укрэлектроаппарат" (г. Хмельницкий). Значительным опытом производства выпрямителей различной мощности и назначения обладает ПО "Преобразователь" (г. Запорожье). Производство регуляторов тока, разрабатываемых Институтом электродинамики НАН Украины, может быть налажено на предприятиях г. Киева. Таким образом, имеется необходимая инфраструктура производства установок газификации.

В середине прошлого века выдающийся физик Нильс Бор произнес слова, уже ставшие пророческими: "Человечество погибнет не в атомном кошмаре — оно задохнется в собственных отходах" [10]. Преодоление кризисов лежит в освоении новых технологий, такие технологии существуют, оправдали свою эффективность и используются в ряде развитых стран.

Заслуживает внимания опыт создания и эксплуатации заводов по переработке бытовых отходов и сточных вод в Японии. Заводы "Kinuura", "Mihama-Mikata", "Utashinai", "Shinminato Clean Center", "Kishiwada Clean Center" и др. перерабатывают в сутки 400—800 тонн отходов и не наносят вреда окружающей среде, обеспечивая прилежащие районы теплом и электроэнергией [12].

Задачей государственной политики Украины в области экологии является если не очистка страны от отходов, то хотя бы обеспечение объема их переработки, превышающего объем их производства, чтобы не перекладывать собственные проблемы на плечи последующих поколений. Требуется лишь программа по координации этих работ и финансовая поддержка государства.

1. *Аньшаков А.С., Чердниченко В.С.* Переработка твердых бытовых отходов методом высокотемпературной (плазменной) газификации / Тез. докл. науч.-практ. семинара "Утилизация отходов большого города". — М.: ВИМИ, 1993.

2. *Богоявленский Р.Г., Десятов А.В., Гнеденко В.Г. и др.* Использование плазменных технологий для переработки раз-

личных отходов // Конверсия в машиностроении. — 1999. — № 3—4. — С. 99—103.

3. *Возный В.А., Комаров Н.С.* Сверхмощный транзисторный регулятор постоянного тока с высокочастотной импульсной модуляцией / Праці Інституту електродинаміки НАН України. — 2003. — № 2(5). — С. 27—43.

4. *Высокоресурсные плазменные нагреватели.* / Конкурс русских инноваций (6). — 2006 — Интернет.

5. *Дмитриев С.А., Лифанов Ф.А., Попков В.Н. и др.* Совершенствование технологии термической переработки твердых РАО с использованием плазменных устройств нагрева / Охрана окружающей среды и обращение с РАО научно-промышленных центров. Итоги научной деятельности ГУП Мос. НПО "Радон" за 2001г. — Радон-Пресс, 2002. — Вып. 9 — Т. 1. — С. 5—9.

6. *Жуков М.Ф., Даутов Г.Ф.* Генераторы низкотемпературной газоразрядной плазмы / Вестник Академии наук СССР. 1966. — №12. — С. 10—12.

7. *Жуков М.Ф., Смоляков В.Я., Урюков Б.А.* Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны). — М.: Наука, 1973. — 232 с.

8. *Комаров Н.С., Мартынов В.В.* Особенности электропитания энергоемкого электротехнологического оборудования / Праці Інституту електродинаміки НАН України. — 2007. — № 2(17). — С. 67—72.

9. *Комаров Н.С., Монжеран Ю.П., Возный В.А.* Нормальные и аварийные режимы работы многофазного импульсного регулятора, нагруженного на мощный газовый плазмотрон // Техн. електродинаміка. — 2005. — № 2. — С. 25—32.

10. *Шаров В.* Отходы нас погубят или обогатят. / Изобретатель и рационализатор. — 2005. — № 4.

11. *Gnedenko V.G., Ivanov A.A., Komarov N.S., Mongeran Ju.P., Pereslavtsev A.V., Titov V.V., Tresviatsky S.S.* Direct current arc plasma torch facility for plasma treatment of wastet / V International Conference Plasma Physics & Plasma Technology, September 18—22, Minsk, Belarus. — 2006. — Pp. 715—718.

12. *Yoahita Akinor.* Power Generation from Waste with Gas Turbine in a Shinminato Clear Energy Center. / Generation in Japan. — 2003. — V. 18. — №1. — Pp. 50—55.

13. *Predtechensky M., Tukhto O., Kuroyatnik I., Chasovskikh E.* Double transferred arc torch: features and potential application / Proc. of IV Inter. Conf. Plasma Physics and Plasma Technology. Minsk. Sept. 15—19. — 2003. — Pp. 709—712.

14. *Setes G.A.* Plasma arc heating — an overview / App. Note — 1001, Ametek HDP Rower Systems. — 2005.

Надійшла 07.05.2008