Оптимизация переходных коммутационных процессов в системах термических операций

**Человек:** Предметом исследования является метод снижения искровой нагрузки и коммутационных помех с помощью сепарирования силовых элементов термических установок. Объектом исследования являются термические установки. Целью исследований является разработка метода разделения силовых элементов термических установок с целью снижения токов коммутации при осуществлении терморегулирования. В работе выполнено моделирование, на примере, нагревательной установки. Результаты моделирования и сравнения системы с сепарированием и без сепарирования термических контуров показывают эффективность применения метода сепарирования для снижения токов коммутации при сохранении допустимых характеристик системы по критерию cosφ. В работе предложен метод снижения токов коммутации в процессе терморегулирования температуры термических установок за счёт перехода от одного силового элемента термической установки к нескольким, мощности которых распределены пропорционально первым членам ряда Фибоначчи. Произведённые в работе исследования показали возможность снижения токов коммутации за счёт увеличения числа термических контуров. Продемонстрирована возможность снижения в несколько раз коммутационных пульсаций напряжения.В работе предложено производить деление мощности, между потребителями (термическими контурами или криогенными элементами), пропорционально нескольким первым членам из ряда Фибоначчи.Характерной особенностью разделения системы на несколько силовых контуров является повышение реактивной мощности. В термических системах предлагается метод возвращения части реактивной мощности с помощью встречного включения нагревательных спиральных элементов.

**Key words:** термические операции, переходные процессы, машиностроение, термообработка, автоматизированное проектирование, математическое моделирование, числа Фибоначчи, расчет электрических токов, САПР, MATLAB

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Модельная реализация производилась в пакете схемотехнического моделирования MicroCap [15] и матричной лаборатории MatLab [16-19], что относится к классу виртуальных сред САПР [20-25]. На схеме обозначены: V1 – источник питания схемы; Т1 – силовой понижающий трансформатор подстанции; S1,…, S4 – ключи включения/выключения термических контуров; R1,…,R4 – активное сопротивление термических контуров; L1,…,L4 – собственные индуктивности контуров; С1,…,С4 – емкость термических контуров на землю, например, на корпус термической установки; С12, С23, С34, С13, С24, С14 – взаимные емкости термических контуров; M12, M23, M34, M13, M24, M14 – взаимные индуктивности термических контуров. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`.

**Key words part:** 0.5769230769230769

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Контуры и условные пределы регулирования. Расчёты емкостных характеристик схемы замещения дали следующие результаты, емкости на землю: C1 ≈ C2 ≈ C3 ≈ C4 ≈ 125 пФ; взаимные емкости: C12 ≈ C23 ≈ C34 ≈ 115 пФ; C13 ≈ C24 ≈ 5пФ; C14 ≈ 1 пФ. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. Численное решение дифференциальных уравнений [29-30] в MicroCap и MatLab [16-19], для схем замещения термических систем (рис. 2,3), позволило получить следующие результаты: значения токов и напряжений от времени и потребляемые термическими системами мощности (Рис. 6).

**Key words part:** 0.5384615384615384

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** Модельная реализация. Пределы регулирования. Были получены следующие значения сопротивлений R1 ≈ R2 ≈ 48.4 Ом; R3 ≈ 24.2 Ом; R4 ≈ 16.13 Ом. Взаимные индуктивности: M12 ≈ M23 ≈ M34 ≈ 2.5 мГн; M13 ≈ M24 ≈ 0.6 мГн; M14 ≈ 0.1 мГн. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. Исследование модели, анализ результатов моделирования. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.38461538461538464

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** Модельная реализация. Пределы регулирования. Были получены следующие значения сопротивлений R1 ≈ R2 ≈ 48.4 Ом; R3 ≈ 24.2 Ом; R4 ≈ 16.13 Ом. Взаимные индуктивности: M12 ≈ M23 ≈ M34 ≈ 2.5 мГн; M13 ≈ M24 ≈ 0.6 мГн; M14 ≈ 0.1 мГн. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. Исследование модели, анализ результатов моделирования. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.38461538461538464

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** С другой стороны, искровая коммутация больших мощностей способствует образованию коммутационной дуги, оплавлению контактных площадок и выходу электрических аппаратов из строя. Использование раздельных силовых модулей (основного и подстроечного) позволяет снизить токи коммутации при необходимости регулирования температуры. Схема замещения контуров термической установки с сепарированием нагревательных элементов. Для целей практического моделирования была произведена оценка параметров схемы замещения. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). Токи и активные мощности при термостабилизации. На изображении (Рис. 6), обозначены: i 1 – суммарный ток по термическим контурам (Рис.6, а.) и P 1 – суммарная активная мощность (Рис.6, в.), в схеме с сепарированием нагревательных элементов (Рис. 2); i 2 – ток по термическому контуру (Рис.6, б.) и P 1 – активная мощность (Рис.6, в.), в схеме без сепарирования нагревательных элементов (Рис.3). В случае сепарирования активная мощность P1 ≈ 4.756 кВт, реактивная мощность Q1 ≈ 2.035 кВт, полная мощность кВт, коэффициент мощности можно определить как отношение .

**Key words part:** 0.5

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** С другой стороны, искровая коммутация больших мощностей способствует образованию коммутационной дуги, оплавлению контактных площадок и выходу электрических аппаратов из строя. Использование раздельных силовых модулей (основного и подстроечного) позволяет снизить токи коммутации при необходимости регулирования температуры. Для целей практического моделирования была произведена оценка параметров схемы замещения. Токи и активные мощности при термостабилизации. В случае сепарирования активная мощность P1 ≈ 4.756 кВт, реактивная мощность Q1 ≈ 2.035 кВт, полная мощность кВт, коэффициент мощности можно определить как отношение .

**Key words part:** 0.4615384615384616

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** Модельная реализация. Модельная реализация производилась в пакете схемотехнического моделирования MicroCap [15] и матричной лаборатории MatLab [16-19], что относится к классу виртуальных сред САПР [20-25]. Так же возможно применение ряда Фибоначчи, для организации четырёхконтурной схемы, в следующем неполном виде 1,2,3,5. Были получены следующие значения: L1 ≈ L2 ≈ 52.6 мГн; L3 ≈ 43.4 мГн; L4 ≈ 38.1 мГн. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. Исследование модели, анализ результатов моделирования. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.5

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Так, например, эквивалентная индуктивность `L\_(E)` (Рис. 5) при включении катушек индуктивности L1, L2 и наличии взаимной индуктивности M12 (причём M12 = M21), в случае сонаправленного включения (Рис. 5, а.):. Рассмотрен случай следующих длительностей коммутаций, для схемы с сепарированием нагревательных элементов: ветви c R1, R2, R3 коммутируются в начальный момент (включения), функцию терморегулирования выполняет нагревательный элемент в ветви R4 он коммутируется с периодом T = 0.1 c, скважностью 70%;. Моделирование показывает значительно меньшие всплески напряжения в моменты коммутации в случае применения сепарирования нагревательных элементов (Рис. 7).

**Key words part:** 0.4615384615384616

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Модельная реализация. Схема замещения контуров термической установки с сепарированием нагревательных элементов. Контуры и условные пределы регулирования. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. в случае встречного включения (Рис. 5, б.):. В системе с сепарированием (Рис. 2) всплеск напряжения достигает значения около 850 В, в системе без сепарирования (Рис. 4) всплеск напряжения достигает значения около 4400 В. Таким образом, в данной модели за счёт сепарирования нагревательных элементов, возможно получить снижение коммутационных пульсаций напряжен более чем в пять раз. В случае сепарирования активная мощность P1 ≈ 4.756 кВт, реактивная мощность Q1 ≈ 2.035 кВт, полная мощность кВт, коэффициент мощности можно определить как отношение .

**Key words part:** 0.4230769230769231

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Модельная реализация. Распределение мощностей между контурами предлагается производить с помощью ряда Фибоначчи. Контуры и условные пределы регулирования. Взаимные индуктивности: M12 ≈ M23 ≈ M34 ≈ 2.5 мГн; M13 ≈ M24 ≈ 0.6 мГн; M14 ≈ 0.1 мГн. Исследование модели, анализ результатов моделирования.

**Key words part:** 0.4230769230769231

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Модельная реализация. Пределы регулирования. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.3461538461538461

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** В такой системе основной нагреватель может работать в непрерывном режиме, а подстроечный нагреватель включаться по мере необходимости для генерации дополнительной тепловой энергии и управления термическим режимом, соответственно. Контуры и условные пределы регулирования. Осуществление выбора мощностей для формирования их распределения по ряду Фибоначчи, возможно, произвести исходя из возможного и целесообразного (экономически, конструкционно) числа термических контуров [32]. Расчёт собственной и взаимной индуктивности производился в соответствии с рекомендациями изложенными в справочнике [27]. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. В случае сепарирования активная мощность P1 ≈ 4.756 кВт, реактивная мощность Q1 ≈ 2.035 кВт, полная мощность кВт, коэффициент мощности можно определить как отношение . Произведённые в работе исследования показали возможность снижения токов коммутации за счёт увеличения числа термических контуров.

**Key words part:** 0.5384615384615384

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Использование раздельных силовых модулей (основного и подстроечного) позволяет снизить токи коммутации при необходимости регулирования температуры. Применение ряда Фибоначчи позволяет получить различные комбинации мощности при возможности терморегулирования переключением минимальных мощностей, так, например, ряд Фибоначчи содержащий четыре элемента (1,1,2,3) позволяет получить следующие регуляционные схемы (Таблица 1). Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). Рассмотрен случай следующих длительностей коммутаций, для схемы с сепарированием нагревательных элементов: ветви c R1, R2, R3 коммутируются в начальный момент (включения), функцию терморегулирования выполняет нагревательный элемент в ветви R4 он коммутируется с периодом T = 0.1 c, скважностью 70%;. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.4615384615384616

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Контуры и условные пределы регулирования. Пределы регулирования. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. Обобщение результатов, заключение, выводы.

**Key words part:** 0.3461538461538461

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Модельная реализация. Контуры и условные пределы регулирования. Пределы регулирования. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`.

**Key words part:** 0.3461538461538461

=================================

**Simple\_PageRank/:** Переходные коммутационные явления вызывают скачки токов и напряжений в сети, что может привести к нестабильной работе электронной аппаратуры и даже выходу её из строя [31]. Так, например, если разогрев производится при помощи электрических токов, то контактная коммутация будет сопряжена с появлением искрения и образованием плазменной дуги, что приведёт к быстрому выгоранию контактов и последующему выходу из строя контактного элемента. Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). Очевидно, что в схеме, без сепарирования нагревательных элементов, присутствуют большие коммутационные токи, чем в схеме с сепарированием. В системе с сепарированием (Рис. 2) всплеск напряжения достигает значения около 850 В, в системе без сепарирования (Рис. 4) всплеск напряжения достигает значения около 4400 В. Таким образом, в данной модели за счёт сепарирования нагревательных элементов, возможно получить снижение коммутационных пульсаций напряжен более чем в пять раз.

**Key words part:** 0.5

=================================

**TextRank/:** Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Схема замещения контуров термической установки с сепарированием нагревательных элементов. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4). Схема замещения контуров термической установки без сепарирования нагревательных элементов. Численное решение дифференциальных уравнений [29-30] в MicroCap и MatLab [16-19], для схем замещения термических систем (рис. 2,3), позволило получить следующие результаты: значения токов и напряжений от времени и потребляемые термическими системами мощности (Рис. 6). На изображении (Рис. 6), обозначены: i 1 – суммарный ток по термическим контурам (Рис.6, а.) и P 1 – суммарная активная мощность (Рис.6, в.), в схеме с сепарированием нагревательных элементов (Рис. 2); i 2 – ток по термическому контуру (Рис.6, б.) и P 1 – активная мощность (Рис.6, в.), в схеме без сепарирования нагревательных элементов (Рис.3).

**Key words part:** 0.5

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** При управлении термическими операциями значительного внимания требуют силовые модули, управляющие поступлением тепловой энергии в систему. Следствием использования полупроводниковых приборов, для коммутации больших мощностей, является повышение себестоимости силовых модулей управления, с одной стороны, и повышение надёжности и срока службы (по сравнению с контактной коммутацией) с другой стороны. Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр. Схема замещения контуров термической установки без сепарирования нагревательных элементов. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. где и значения индуктивностей L1 и L2, M12 – значение взаимной индуктивности M12. На изображении (Рис. 6), обозначены: i 1 – суммарный ток по термическим контурам (Рис.6, а.) и P 1 – суммарная активная мощность (Рис.6, в.), в схеме с сепарированием нагревательных элементов (Рис. 2); i 2 – ток по термическому контуру (Рис.6, б.) и P 1 – активная мощность (Рис.6, в.), в схеме без сепарирования нагревательных элементов (Рис.3). Для схемы без сепарирования активная мощность P2 = 4.756 кВт, реактивная мощность Q2 ≈ 1.548 кВт, полная мощность S2 ≈ 5.00 кВт, .

**Key words part:** 0.5

=================================

**Текст:** Производственные процессы, связанные с термическими операциями достаточно многообразны [1-5]. Многие термические операции связаны с потреблением значительных мощностей при необходимости терморегуляции, с целью стабилизации или изменения температуры по заданному закону, т.е. терморегулирования. Если источником тепловой энергии является потребляемая электрическая мощность, то терморегуляция требует осуществления электро-коммутационных переключений. Как известно при изменении (включении или выключении) нагрузки, возникают переходные процессы, особенно неблагоприятную форму имеют переходные процессы, связанные с резким изменением нагрузки. Переходные коммутационные явления вызывают скачки токов и напряжений в сети, что может привести к нестабильной работе электронной аппаратуры и даже выходу её из строя [31]. С другой стороны, искровая коммутация больших мощностей способствует образованию коммутационной дуги, оплавлению контактных площадок и выходу электрических аппаратов из строя. При использовании полупроводниковых элементов для коммутации (безыскровая коммутация) больших мощностей возникающие перенапряжения так же нежелательны т.к. способны вывести из строя полупроводниковые приборы в результате пробоя. Таким образом, актуальной задачей является разработка инженерных решений построения систем термических операций, позволяющих осуществлять терморегуляцию при коммутации относительно небольших токов.. . Снижение коммутационных токов за счёт разделения. При управлении термическими операциями значительного внимания требуют силовые модули, управляющие поступлением тепловой энергии в систему. Так, например, если разогрев производится при помощи электрических токов, то контактная коммутация будет сопряжена с появлением искрения и образованием плазменной дуги, что приведёт к быстрому выгоранию контактов и последующему выходу из строя контактного элемента. Поэтому целесообразнее применять бесконтактную коммутацию (на основе полупроводниковых приборов, например: тиристоров, симисторов и пр.), для получения больших токов необходимо использовать параллельное включение нескольких мощных полупроводниковых приборов, использовать принудительное охлаждение полупроводников. Следствием использования полупроводниковых приборов, для коммутации больших мощностей, является повышение себестоимости силовых модулей управления, с одной стороны, и повышение надёжности и срока службы (по сравнению с контактной коммутацией) с другой стороны. Отметим, что бесконтактную коммутацию целесообразно применять в системах, в которых коммутация проводится достаточно часто.. Так же в системах контактной коммутации больших токов необходимо учитывать исследования и наработки из области электрических аппаратов [6-8], например, в случае использования переменного напряжения, учитывать неравномерность распределения тока по сечению проводника [9] (что особенно актуально для повышенных, относительно сети, частот питающего напряжения), а для минимизации напряжения отключения, коммутацию производить при минимальных амплитудах, в установках значительной мощности использовать системы дугогашения и пр.. Уменьшение коммутационных токов позволяет снизить количество коммутационных помех и повысить качество совместимости [10,11] и взаимодействия с внешней энергетической и информационной инфраструктурой, а следовательно повысить интероперабельность [12-14] термической установки.. Для снижения коммутируемых мощностей целесообразно применять системы с раздельной коммутацией, например, для систем в которых необходимо поддержание некоторой заданной температуры, возможно, использовать основной нагреватель обеспечивающий нагрев несколько ниже заданной температуры и подстрочный нагреватель (Рис. 1), обеспечивающий дополнительную энергию (дополнительную к основному нагревателю) для нагрева несколько выше заданной температуры.. . Рис. 1. Разделение термоэнергетических модулей на основной и подстроечный. . В такой системе основной нагреватель может работать в непрерывном режиме, а подстроечный нагреватель включаться по мере необходимости для генерации дополнительной тепловой энергии и управления термическим режимом, соответственно. Аналогичную систему, раздельных энергетических модулей (основного и подстроечного) возможно использовать и в системах охлаждения (холодильных и криогенных системах). Использование раздельных силовых модулей (основного и подстроечного) позволяет снизить токи коммутации при необходимости регулирования температуры.. Модельная реализация. Модельная реализация производилась в пакете схемотехнического моделирования MicroCap [15] и матричной лаборатории MatLab [16-19], что относится к классу виртуальных сред САПР [20-25]. В качестве модели была выбрана однофазная схема с четырьмя термическими контурами (Рис. 2), с активной мощностью ~ 5 кВт.. . Рис. 2. Схема замещения контуров термической установки с сепарированием нагревательных элементов. На схеме обозначены: V1 – источник питания схемы; Т1 – силовой понижающий трансформатор подстанции; S1,…, S4 – ключи включения/выключения термических контуров; R1,…,R4 – активное сопротивление термических контуров; L1,…,L4 – собственные индуктивности контуров; С1,…,С4 – емкость термических контуров на землю, например, на корпус термической установки; С12, С23, С34, С13, С24, С14 – взаимные емкости термических контуров; M12, M23, M34, M13, M24, M14 – взаимные индуктивности термических контуров. При моделировании полагалось, что питающая подстанция расположена достаточно близко от силовой установки, так что эффект длинной линии возможно не учитывать.. Распределение мощностей между контурами предлагается производить с помощью ряда Фибоначчи.. Применение ряда Фибоначчи позволяет получить различные комбинации мощности при возможности терморегулирования переключением минимальных мощностей, так, например, ряд Фибоначчи содержащий четыре элемента (1,1,2,3) позволяет получить следующие регуляционные схемы (Таблица 1).. Таблица 1. Контуры и условные пределы регулирования. Контура. Число контуров. Пределы регулирования. ±1. 1. 0…1. 1±1. 2. 1…2. 2±1. 2. 2…3. 3±1 или 2+1±1. 2 или 3. 3…4. 3+1±1. 3. 4…5. 3+2±1. 3. 5…6. 3+2+1±1. 4. 6…7. . Таким образом, применяя ряд Фибоначчи для распределения мощностей возможно переключением минимальной мощности осуществлять термостабилизацию. Для динамического изменения мощности в широких пределах, только переключением минимальных мощностей не обойтись, но распределение мощностей по ряду Фибоначчи позволяет решить и эту задачу.. Осуществление выбора мощностей для формирования их распределения по ряду Фибоначчи, возможно, произвести исходя из возможного и целесообразного (экономически, конструкционно) числа термических контуров [32].. Например, при активной мощности установки 30кВт, число термических контуров – четыре, имеем активную мощность двух контуров 4.29 кВт, один контур 8.57 кВт и один контур 12.86 кВт. Так же возможно применение ряда Фибоначчи, для организации четырёхконтурной схемы, в следующем неполном виде 1,2,3,5. При использовании неполной формы начальных членов ряда Фибоначчи некоторые режимы термостабилизации не удастся реализовать переключением термического контура с минимальной мощностью. При выборе распределения мощностей по термическим контурам необходимо руководствоваться соображениями реализации требуемых термических режимов при условии минимизации токов коммутации для регулирования.. Применение нескольких термических контуров может существенно повлиять на устройство системы термических операций, как с точки зрения аппаратного и программного терморегулирования, так и с точки зрения конструктивного исполнения: расположение термических элементов, расположение элементов принудительной циркуляции, расположение и число датчиков температуры и пр.. Для целей практического моделирования была произведена оценка параметров схемы замещения. В качестве нагревательного элемента был применён сплав X20H80-H (по ГОСТ 12766.1-90) [26], с удельным сопротивлением . Поправочные коэффициенты для этого сплава приведены в Таблице 2.. . Таблица 2. Поправочные коэффициенты для расчета изменения электрического сопротивления в зависимости от температуры. t, ºC. 20. 100. 200. 300. 400. 500. 600. 700. 800. Rt/R20. 1.000. 1.006. 1.015. 1.022. 1.029. 1.032. 1.023. 1.016. 1.015. . Диаметр и длина проволоки выбирались исходя из условий получения необходимой мощности (сопротивления) при допустимом термоизлучении с единицы площади. При расположении нагревательных элементов в печи необходимо учитывать распределение энергии, в некоторых случаях может понадобиться регулировать длину нагревательных элементов, что возможно реализовать, в том числе с помощью шага и радиуса навивки проволоки.. В рассматриваемом примере нагревательные элементы были расположены на стенке термической камеры, с помощью параллельной укладки (Рис.3).. . Рис. 3. Расположение спиральных нагревательных элементов на поверхности термической камеры, цифрами обозначены четыре термических контура. . Были получены следующие значения сопротивлений R1 ≈ R2 ≈ 48.4 Ом; R3 ≈ 24.2 Ом; R4 ≈ 16.13 Ом. Расчёт собственной и взаимной индуктивности производился в соответствии с рекомендациями изложенными в справочнике [27]. Были получены следующие значения: L1 ≈ L2 ≈ 52.6 мГн; L3 ≈ 43.4 мГн; L4 ≈ 38.1 мГн. Взаимные индуктивности: M12 ≈ M23 ≈ M34 ≈ 2.5 мГн; M13 ≈ M24 ≈ 0.6 мГн; M14 ≈ 0.1 мГн. Расчёты емкостных характеристик схемы замещения дали следующие результаты, емкости на землю: C1 ≈ C2 ≈ C3 ≈ C4 ≈ 125 пФ; взаимные емкости: C12 ≈ C23 ≈ C34 ≈ 115 пФ; C13 ≈ C24 ≈ 5пФ; C14 ≈ 1 пФ.. Отметим, что обозначения элементов на схеме, будем делать в безиндексной записи, а характеризующие элементы значения в индексной записи, например: сопротивление на схеме обозначено R1; величина сопротивления R1 ≈ 48.4 Ом.. Параметры блоков V1 и T1 определялись в соответствии с требованиями [28], внутренние сопротивление трансформатора T1, межвитковая и межобмоточная емкость на схеме замещения не указаны.. После расчёта параметров схемы производилось моделирование режимов электронных переключений схемы (Рис.2) для обеспечения термостабилизации.. Для сравнения использовалась однофазная схема подключения термической установки с активной мощностью ~ 5 кВт, без сепарирования нагревательных элементов и соответственно токов терморегулирования (Рис.4).. . Рис. 4. Схема замещения контуров термической установки без сепарирования нагревательных элементов. . Эквивалентное активное сопротивление R1 = 8.4 Ом, индуктивность L1 = 11 мГн, емкость нагревательного элемента на землю C1 = 98 пФ.. Расчёты характеристик, выбранных в качестве примера термических установок, показывают достаточно значимые величины индуктивностей термических контуров, что обусловлено спиральной формой нагревательных элементов. Наличие индуктивности, в цепях переменного тока, обуславливает реактивную мощность, которая, в данном случае, может быть отнесена к мощности потерь. Эти особенности необходимо учитывать при включении и расчёте характеристик спиральных нагревательных элементов.. Так, например, эквивалентная индуктивность `L\_(E)` (Рис. 5) при включении катушек индуктивности L1, L2 и наличии взаимной индуктивности M12 (причём M12 = M21), в случае сонаправленного включения (Рис. 5, а.):. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)-2M\_(12))`. в случае встречного включения (Рис. 5, б.):. `L\_(E)=(L\_(1)\*L\_(2)+M\_(12)^(2))/(L\_(1)+L\_(2)+2M\_(12))`. где и значения индуктивностей L1 и L2, M12 – значение взаимной индуктивности M12.. . Рис. 5. Сонаправленное (а.) и встречное (б.) параллельное включение индуктивностей. . Встречное включение индуктивностей, позволяет уменьшить эквивалентную индуктивность, или по-другому: благодаря индукции ЭДС, позволяет вернуть часть реактивной мощности из магнитного поля обратно в термические контуры.. Исследование модели, анализ результатов моделирования. Численное решение дифференциальных уравнений [29-30] в MicroCap и MatLab [16-19], для схем замещения термических систем (рис. 2,3), позволило получить следующие результаты: значения токов и напряжений от времени и потребляемые термическими системами мощности (Рис. 6).. . Рис. 6. Токи и активные мощности при термостабилизации. На изображении (Рис. 6), обозначены: i 1 – суммарный ток по термическим контурам (Рис.6, а.) и P 1 – суммарная активная мощность (Рис.6, в.), в схеме с сепарированием нагревательных элементов (Рис. 2); i 2 – ток по термическому контуру (Рис.6, б.) и P 1 – активная мощность (Рис.6, в.), в схеме без сепарирования нагревательных элементов (Рис.3).. Рассмотрен случай следующих длительностей коммутаций, для схемы с сепарированием нагревательных элементов: ветви c R1, R2, R3 коммутируются в начальный момент (включения), функцию терморегулирования выполняет нагревательный элемент в ветви R4 он коммутируется с периодом T = 0.1 c, скважностью 70%;. для схемы без сепарирования нагревательных элементов: коммутация нагревательного элемента происходит с периодом 0,2 с и скважностью 92,5%.. Следует отметить, что во многих реальных термических установках коммутации производятся с существенно меньшими частотами, т.к. многие реальные установки обладают значительной тепловой инертностью. Бывают и напротив, более частые коммутации, в этих случаях обычно используют постоянные токи питания или токи питания более высокой частоты, чем 50 Гц стандартной сети.. Очевидно, что в схеме, без сепарирования нагревательных элементов, присутствуют большие коммутационные токи, чем в схеме с сепарированием.. Моделирование показывает значительно меньшие всплески напряжения в моменты коммутации в случае применения сепарирования нагревательных элементов (Рис. 7). Рассмотрен случай коммутации S1 при включённых S2, S3, S4 (Рис. 2) и S1 (рис. 4), при периоде коммутации 100 мс, скважности 41,7%. На изображении (рис. 7) обозначены i 1 – ток в ветви S1 (Рис. 2); i 2 – ток в ветви S1 (Рис. 4), u пит – напряжение питания установки. Очевидно, что в момент отключения нагрузки наблюдается всплеск напряжения. В системе с сепарированием (Рис. 2) всплеск напряжения достигает значения около 850 В, в системе без сепарирования (Рис. 4) всплеск напряжения достигает значения около 4400 В. Таким образом, в данной модели за счёт сепарирования нагревательных элементов, возможно получить снижение коммутационных пульсаций напряжен более чем в пять раз.. . Рис. 7. Коммутационные режимы работы, с сепарированием (а., б.), без сепарирования (в., г.). . Коэффициенты мощности при непрерывной работе всех контуров в термических системах. В случае сепарирования активная мощность P1 ≈ 4.756 кВт, реактивная мощность Q1 ≈ 2.035 кВт, полная мощность кВт, коэффициент мощности можно определить как отношение . Для схемы без сепарирования активная мощность P2 = 4.756 кВт, реактивная мощность Q2 ≈ 1.548 кВт, полная мощность S2 ≈ 5.00 кВт, . Очевидно, что для схемы без сепарации коэффициент мощности имеет лучшее значение, т.е. ближе к идеальному значению 1.. . Обобщение результатов, заключение, выводы. Произведённые в работе исследования показали возможность снижения токов коммутации за счёт увеличения числа термических контуров. Продемонстрирована возможность снижения в несколько раз коммутационных пульсаций напряжения. В работе предложено производить деление мощности, между потребителями (термическими контурами или криогенными элементами), пропорционально нескольким первым членам из ряда Фибоначчи.. Характерной особенностью разделения системы на несколько силовых контуров является повышение реактивной мощности. В термических системах предлагается метод возвращения части реактивной мощности с помощью встречного включения нагревательных спиральных элементов.. Результаты моделирования и сравнения системы с сепарированием и без сепарирования термических контуров показывают эффективность применения метода сепарирования для снижения токов коммутации при сохранении допустимых характеристик системы по критерию cosφ .. Применение сепарирования нагревательных элементов позволяет уменьшить время термостабилизации термической системы за счёт увеличения суммарной площади нагревательных элементов, а значит возможности более эффективного отвода тепла в рабочее пространство. Увеличение площади нагревательных элементов, при одновременном снижении температуры их разогрева, при прочих равных условиях эксплуатации, позволяет увеличить срок службы нагревательных элементов, что позволяет снизить частоту процедур обслуживания термической установки и уменьшить время простоя оборудования..