



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

(21)(22) Заявка: 2012120692/07, 19.10.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
19.10.2009 FR 0957321

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2013 Бюл. № 33

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 21.05.2012(86) Заявка РСТ:
FR 2010/052216 (19.10.2010)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/048316 (28.04.2011)

Адрес для переписки:

109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", Ю.Б.Переудовой

(71) Заявитель(и):

**ЭЛЕКТРИСИТЕ ДЕ ФРАНС (FR),
САНТР НАСЬОНАЛЬ ДЕ ЛЯ РЕШЕРШ
СЪЕНТИФИК-СНРС (FR),
ЭНСТИТУ НАСЬОНАЛЬ
ПОЛИТЕКНИК ДЕ ТУЛУЗ (FR)**

(72) Автор(ы):

**ПАТО Оливье (FR),
НО Ив (FR),
ЛЁФЕВР Иван (FR),
ЛЯДУ Филипп (FR),
МОССЬОН Паскаль (FR),
МАНО Жильбер (FR)****(54) СПОСОБ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА, ПРИМЕНЯЕМЫЙ В УСТРОЙСТВЕ, СОДЕРЖАЩЕМ
МАГНИТОСВЯЗАННЫЕ ИНДУКТОРЫ****(57) Формула изобретения**

1. Способ индукционного нагрева, применяемый в устройстве нагрева металлической детали, характеризующийся тем, что указанное устройство содержит магнитосвязанные индукторы ($Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_p$), причем каждый индуктор получает питание от соответствующего ему инвертора ($O_1, O_2, \dots, O_p$), связанного с конденсатором ($C_1, C_2, \dots, C_p$) для образования колебательного контура ($OC_1, OC_2, \dots, OC_p$), при этом указанные колебательные контуры имеют, по меньшей мере, приблизительно одинаковую резонансную частоту, причем каждым инвертором управляет блок управления ($M_1, M_2, \dots, M_p$) таким образом, чтобы изменять амплитуду ($A_1, A_2, \dots, A_p$) и фазу ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$) тока ($I_1, I_2, \dots, I_p$), проходящего через соответствующий индуктор, при этом устройство также содержит средства определения указанного тока ($I_1, I_2, \dots, I_p$) и средства определения действительного температурного профиля ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) указанной металлической детали, указанный способ включает этапы, на которых:

а) сравнивают указанный действительный температурный профиль ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) с контрольным температурным профилем ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$) и вычисляют контрольный профиль плотности мощности ($Dp_1^{\text{ref}}, Dp_2^{\text{ref}}, \dots, Dp_n^{\text{ref}}$), который устройство нагрева должно подавать в указанную деталь, чтобы достичь указанного

контрольного температурного профиля;

б) при помощи матрицы полных сопротивлений (Z), определяемой на основании электромагнитных соотношений, связывающих указанные индукторы между собой и с указанной деталью, и на основании графических векторных функций (f_k), характеризующих соотношения между плотностью тока, создаваемой индукторами, и током ($I_1, I_2, \dots, I_p$), проходящим через индукторы, вычисляют искомые токи, которые должны выдавать инверторы, чтобы токи индукторов достигали соответствующих искомых значений ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) для подачи указанного контрольного профиля плотности мощности ($Dp_1^{\text{ref}}, Dp_2^{\text{ref}}, \dots, Dp_n^{\text{ref}}$) в указанную деталь;

с) определяют токи ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$), проходящие через индукторы, чтобы сравнить их с указанными искомыми значениями ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) и определить подлежащие коррекции отклонения токов ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$), и в указанные блоки управления ($M1, M2, \dots, Mp$) передают команды коррекции в зависимости от указанных отклонений токов для управления инверторами таким образом, чтобы корректировать токи, проходящие через индукторы.

2. Способ нагрева по п.1, в котором определяют емкости указанных конденсаторов ($C1, C2, \dots, Cp$) и указанную матрицу полных сопротивлений (Z) связывают с вектором (C) емкостей.

3. Способ нагрева по п.1 или 2, в котором определяют исходное значение (Z_{ini}) указанной матрицы полных сопротивлений (Z) для заданной первоначальной средней температуры (θ_{ini}) указанных индукторов и указанной детали, затем через переменные или периодические интервалы определяют измененную матрицу полных сопротивлений ($Z_{\text{mod}}(\theta)$) по меньшей мере для одного увеличенного значения (θ_{mod}) указанной средней температуры и указанную измененную матрицу полных сопротивлений используют для перерасчета указанных искомых значений ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$).

4. Способ нагрева по п.1 или 2, в котором после последовательного осуществления этапов (а) и (б) по меньшей мере один раз осуществляют этап (с) для уменьшения указанных корректируемых отклонений токов ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$), затем по меньшей мере один раз повторяют этапы (а), (б) и (с), обновляя указанный действительный температурный профиль ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) на основании измерений температуры в различных нагреваемых зонах детали.

5. Способ нагрева по п.3, в котором после последовательного осуществления этапов (а) и (б) по меньшей мере один раз осуществляют этап (с) для уменьшения указанных корректируемых отклонений токов ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$), затем по меньшей мере один раз повторяют этапы (а), (б) и (с), обновляя указанный действительный температурный профиль ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) на основании измерений температуры в различных нагреваемых зонах детали.

6. Способ нагрева по п.1 или 2, в котором для определения вычислением указанных искомых значений ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) на этапе (б) на основании указанных графических векторных функций (f_k) вычисляют графические функции плотностей мощности ($Dp(r, x)$) по пространственным характеристикам (r) зон детали, в которые вводят указанные плотности мощности, и вычисляют оптимизированный вектор (x) определяемых искомых токов, минимизируя разность между каждой из указанных графических функций плотностей мощности ($Dp(r, x)$) и контрольной функцией плотности мощности ($Dp^{\text{ref}}(r)$), соответствующей указанному контрольному профилю плотности мощности

$$(Dp_1^{ref}, Dp_2^{ref}, \dots, Dp_n^{ref}) .$$

7. Способ нагрева по п.3, в котором для определения вычислением указанных искомых значений ($I_{1\text{ref}}, I_{2\text{ref}}, \dots, I_{p\text{ref}}$) на этапе (b) на основании указанных графических векторных функций (f_k) вычисляют графические функции плотностей мощности ($Dp(r, x)$) по пространственным характеристикам (r) зон детали, в которые вводят указанные плотности мощности, и вычисляют оптимизированный вектор (x) определяемых искомых токов, минимизируя разность между каждой из указанных графических функций плотностей мощности ($Dp(r, x)$) и контрольной функцией плотности мощности ($Dp^{ref}(r)$), соответствующей указанному контрольному профилю плотности мощности ($Dp_1^{ref}, Dp_2^{ref}, \dots, Dp_n^{ref}$) .

8. Способ нагрева по п.1 или 2, в котором в качестве контрольного инвертора берут инвертор (O1) с наибольшим током по сравнению с другими инверторами (O2, ..., Op) в случае инвертора тока или с наибольшим напряжением в случае инвертора напряжения и вводят углы смещения в команды управления другими инверторами по отношению к углу управления на контрольном инверторе.

9. Способ нагрева по п.3, в котором в качестве контрольного инвертора берут инвертор (O1) с наибольшим током по сравнению с другими инверторами (O2, ..., Op) в случае инвертора тока или с наибольшим напряжением в случае инвертора напряжения и вводят углы смещения в команды управления другими инверторами по отношению к углу управления на контрольном инверторе.

10. Способ нагрева по п.4, в котором для определения вычислением указанных искомых значений ($I_{1\text{ref}}, I_{2\text{ref}}, \dots, I_{p\text{ref}}$) на этапе (b) на основании указанных графических векторных функций (f_k) вычисляют графические функции плотностей мощности ($Dp(r, x)$) по пространственным характеристикам (r) зон детали, в которые вводят указанные плотности мощности, и вычисляют оптимизированный вектор (x) определяемых искомых токов, минимизируя разность между каждой из указанных графических функций плотностей мощности ($Dp(r, x)$) и контрольной функцией плотности мощности ($Dp^{ref}(r)$), соответствующей указанному контрольному профилю плотности мощности ($Dp_1^{ref}, Dp_2^{ref}, \dots, Dp_n^{ref}$) .

11. Способ нагрева по п.4, в котором в качестве контрольного инвертора берут инвертор (O1) с наибольшим током по сравнению с другими инверторами (O2, ..., Op) в случае инвертора тока или с наибольшим напряжением в случае инвертора напряжения и вводят углы смещения в команды управления.

12. Способ нагрева по п.6, в котором регулируют контрольный инвертор (O1) с циклическим соотношением, равным 2/3, чтобы уменьшить гармонические помехи, создаваемые этим инвертором на соседних с ним инверторах (O2, ..., Op).

13. Способ нагрева по п.6, в котором регулируют эффективное значение тока в указанном контрольном инверторе (O1) посредством воздействия на источник (1) питания постоянного тока инверторов (O1, O2, ..., Op).

14. Устройство индукционного нагрева, содержащее:

магнитосвязанные индукторы (Ind1, Ind2, ..., Indp), при этом каждый индуктор связан с конденсатором (C1, C2, ..., Cp) для образования колебательного контура (OC1, OC2, ..., OCp), указанные колебательные контуры имеют, по меньшей мере, приблизительно одинаковую резонансную частоту;

инверторы (O1, O2, ..., Op), каждый из которых питает связанный с ним индуктор (Ind1, Ind2, ..., Indp), при этом каждым инвертором управляет блок управления (N1, M2, ..., Mp) таким образом, чтобы изменять амплитуду ($A_1, A_2, \dots, A_p$) и фазу ($\varphi_1, \varphi_2, \dots$,

φ_p) тока ($I_1, I_2, \dots, I_p$), проходящего через соответствующий индуктор;

отличающееся тем, что дополнительно содержит:

средства определения токов ($I_1, I_2, \dots, I_p$), проходящих через индукторы, а также средства определения действительного температурного профиля ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) металлической детали, нагреваемой устройством;

средства сравнения указанного действительного температурного профиля ($\theta_{1\text{ mes}}, \theta_{2\text{ mes}}, \dots, \theta_{n\text{ mes}}$) с контрольным температурным профилем ($\theta_{1\text{ ref}}, \theta_{2\text{ ref}}, \dots, \theta_{n\text{ ref}}$);

средства вычисления контрольного профиля плотности мощности ($Dp_1^{\text{ref}}, Dp_2^{\text{ref}}, \dots, Dp_n^{\text{ref}}$), которую устройство нагрева должно вводить в указанную деталь, чтобы достичь указанного контрольного температурного профиля;

средства вычисления, основанные на знании матрицы полных сопротивлений (Z), искомых токов, которые должны выдавать инверторы, чтобы токи индукторов достигали соответствующих искомых значений ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) для подачи указанного контрольного профиля плотности мощности ($Dp_1^{\text{ref}}, Dp_2^{\text{ref}}, \dots, Dp_n^{\text{ref}}$) в указанную деталь;

средства сравнения ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$) токов ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$), проходящих через индукторы, с указанными искомыми значениями ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$), выполненные с возможностью определения подлежащих коррекции отклонений токов ($\delta I_{1\text{ corr}}, \delta I_{2\text{ corr}}, \dots, \delta I_{p\text{ corr}}$), и средства обработки ($CORR_1, CORR_2, \dots, CORR_p$) указанных отклонений токов, выполненные с возможностью генерирования команд коррекции, направляемых в указанные блоки управления ($M1, M2, \dots, Mp$) для управления инверторами таким образом, чтобы корректировать токи, проходящие через индукторы.

15. Устройство индукционного нагрева по п.14, в котором инверторы ($O1, O2, \dots, Op$) получают питание от одного и того же источника (1) тока или напряжения, и указанные средства сравнения указанных определенных токов ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$), проходящих через индукторы, содержат сравнительные блоки ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$), каждый из которых получает определенные параметры ($A_1, \varphi_1; A_2, \varphi_2; \dots; A_p, \varphi_p$) проходящего через индуктор тока ($I_{1\text{ mes}}, I_{2\text{ mes}}, \dots, I_{p\text{ mes}}$) и параметры соответствующих искомых значений ($I_{1\text{ ref}}, I_{2\text{ ref}}, \dots, I_{p\text{ ref}}$) и каждый из которых соединен с блоком обработки ($CORR_1, CORR_2, \dots, CORR_p$) указанных отклонений тока, при этом один (ε_1) из указанных сравнительных блоков дополнительно получает параметры ($I_{c\text{ mes}}, I_{c\text{ calc}}$), характеризующие питание, поступающее от указанного источника (1) питания, и его соответствующий блок обработки ($CORR_1$) выполнен с возможностью генерирования команд регулирования, направляемых в указанный источник (1) питания, чтобы изменять выдаваемые им ток или напряжение.