

УДК 621.314:621.382

Методика определения электрических параметров индуктора и нагреваемого тела как нагрузки преобразователя частоты

Коржов Дмитрий Николаевич – аспирант Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

г.Белгород)

(БГТУ,

Аннотация: Установки индукционного нагрева широко применяются для гибки труб различных диаметров и имеют в своем составе высокочастотный генератор на базе полупроводникового преобразователя частоты и индуктора. Преобразователь частоты является нелинейным потребителем, а значит генерирует в сеть высшие гармоники тока и напряжения. Оценка их амплитудного и частотного спектра является актуальной задачей с точки зрения повышения энергоэффективности установок индукционного нагрева.

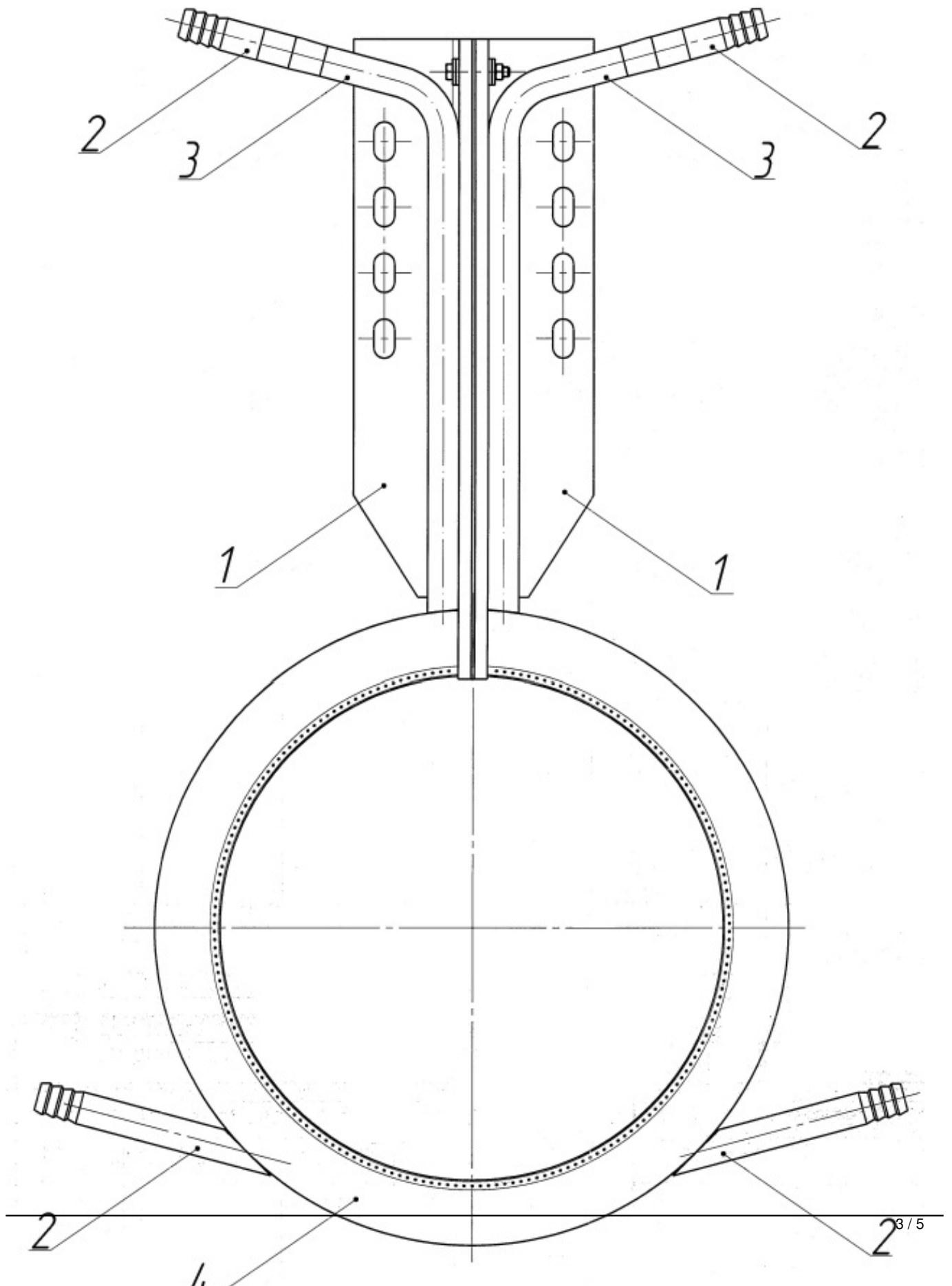
Ключевые слова: Индукционный нагрев, полупроводниковый преобразователь частоты, схема замещения индуктора, углы управления преобразователя частоты, высшие гармоники тока и напряжения.

Для нагрева труб в станах горячей гибки используются одновитковые медные индукторы. Труба помещается внутрь индуктора, подается вперед и изгибается в горизонтальной плоскости. На индуктор подается переменное напряжение высокой частоты. Переменное магнитное поле вызывает появление индуцированного тока в трубе, в результате чего она нагревается. На рис.1 представлен эскиз индуктора.

Камера индуктора изготавливается из медной трубы, в которой выполняются отверстия для охлаждения нагретых участков трубы. В качестве охлаждающей жидкости используется вода [1,2].

Поскольку в состав высокочастотного генератора входят элементы с нелинейными

характеристиками (трехфазный мостовой управляемый выпрямитель и автономный инвертор тока), важной задачей становится оценка электромагнитной совместимости установки индукционного нагрева с питающей сетью.



$R_1 = R_1 + R_2', X_1 = X_1 + X_{2M}'$ (1-2)

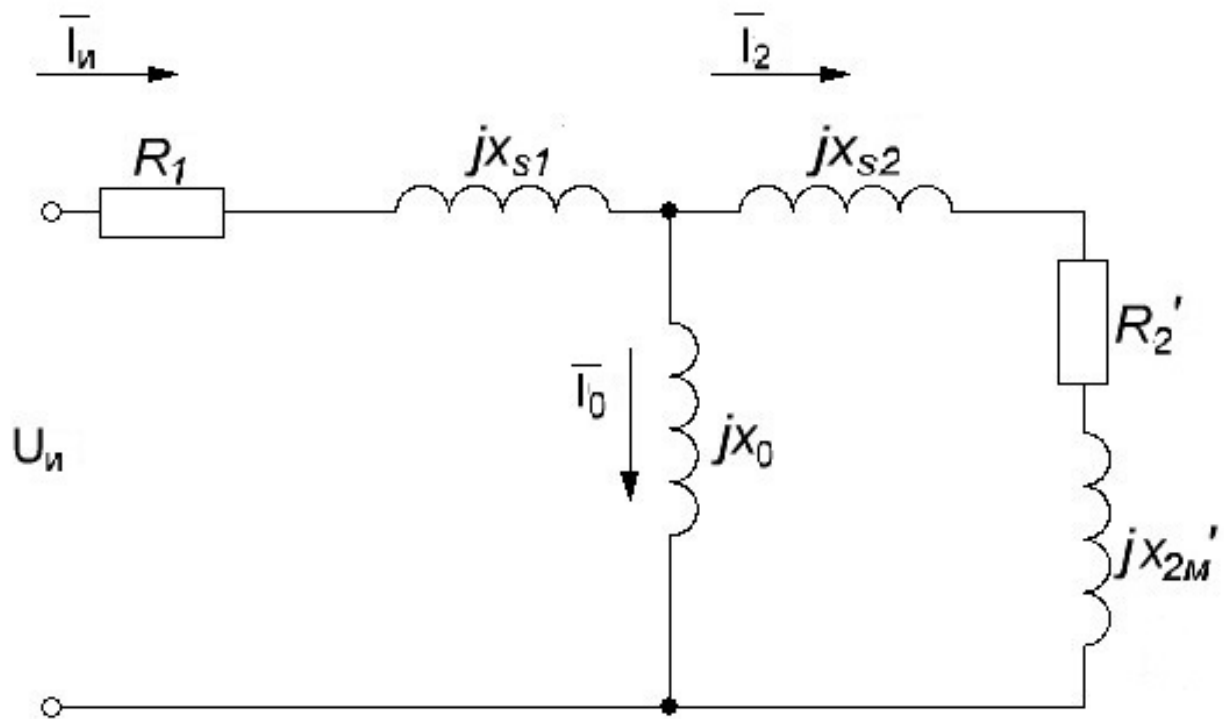


Рис. 2. Полная электрическая схема замещения системы «индуктор – нагреваемая труба»

$G = \pi \cdot L_1 \cdot \frac{D_2^2 - (D_2 - 2 \cdot S_2)^2}{4} \cdot \rho$, (3)
 $t = \frac{L_1}{\rho}$, (4)
 $P_1 = \frac{G \cdot 668 \cdot T_{cp}}{10^6}$, (5)
 $\Delta P_1 = 3,74 \cdot \frac{L_1}{\log_7 \left(\frac{D_1}{D} \right)}$; $P_2 = 1,05 \cdot (P_1 + \Delta P_1)$, (6-7)

Найдем глубину проникновения тока в нагреваемую трубу:

$\Delta = \frac{0,5}{\sqrt{f}}$, (8)

Определим активное и внутреннее реактивное сопротивление трубы:

$R_2 = X_2 = \frac{\pi \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot B}{L_1}$, (11)

Определим реактивное сопротивление отрезка пустого индуктора бесконечной длины:

$X_{10} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \pi^2 \cdot D_1^2 \cdot 10^{-7}}{L_1}$, (12)

Найдем реактивное сопротивление пространства между индуктором и трубой:

$X_0 = X_{10} \cdot \frac{k_1}{1 - k_1}$, (13)

Определим коэффициент приведения сопротивления трубы:

$c = \frac{1}{\left(\frac{R_2}{X_1} \right)^2 + \left(1 + \frac{X_0 + X_2}{X_1} \right)^2}$, (15)

Определим приведенные активное и реактивное сопротивление трубы:

$R_2' = c \cdot R_2$; $X_{2M}' = c \cdot \left(X_0 + X_1 + \frac{(X_0 + X_2)^2 + R_2^2}{X_1} \right)$, (16)

Определим коэффициент изменения внутреннего реактивного сопротивления трубы:

$k = \frac{2 \cdot S_2^2}{3 \cdot \Delta^2}$, (18)

Определим приведенные активное сопротивление и для трубки и проводящего индуктора:

$R_1 = R_m \cdot k$; $X_1 = R_m \cdot k_1$, (19-20)

Определим полное сопротивление системы «индуктор – нагреваемая труба»:

$Z = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$, (21-23)

Определим КПД и коэффициент мощности системы «индуктор – нагреваемая труба»:

$\eta = \frac{R_2}{Z}$; $\cos \varphi = \frac{R_1}{Z}$, (24-25)

Определим напряжение и ток на индукторе:

$I = \frac{P_2}{U}$; $U = I \cdot Z$, (26-27)

$$\varphi = \arccos \frac{U_i}{0,9 \cdot U}, \quad (30)$$

Величина φ определяет коэффициент мощности для индуктивной нагрузки инвертора. Угол φ зависит от параметров индуктора и нагреваемого тела как нагрузки преобразователя.