

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КУЗНЕЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Б.Б. Утегулов, И.В. Захаров, А.Д. Ижилова (г.Павлодар, Казахстан)

Индукционные нагревательные установки (ИНУ) получили достаточно широкое распространение в кузнечном производстве для нагрева металлических заготовок под пластическую деформацию (прессование, штамповку, ковку и т.д.).

Электрический частотный диапазон работы ИСУ достаточно широк, от промышленной частоты - 50 Гц, до повышенной 8÷10 кГц. Весьма разнообразен сортамент и вид металла, нагреваемого в установках (сталь, медь, алюминий, их сплавы).

Существенным недостатком ИНУ является низкое значение естественного $\cos \varphi$, который редко бывает выше 0,3. Это предопределяет необходимость его искусственного повышения.

Традиционный способ повышения cosφ ИСУ – использование конденсаторных батарей. Однако этот способ также имеет ряд недостатков:

- достаточно высокая стоимость конденсаторной батареи;
- большие производственные площади, занимаемые конденсаторной батареей, которые возрастают с увеличением мощности и фазности ИНУ;
- значительные потери активной мощности в конденсаторной батарее и элементах контура «индуктор-конденсаторная батарея»;
- высокая чувствительность конденсаторов к качеству питающего напряжения, особенно к наличию в питающей сети высших гармонических составляющих, что требует использования специальных защитных средств.

Повысить естественный $\cos\varphi$ и одновременно существенно снизить указанные недостатки поможет использование в ИСУ индукторов с самокомпенсацией реактивной мощности (ИС).

ИС совмещает в себе функции устройства для индукционного нагрева и емкостного элемента [1,2]. Конструктивно ИС выполняется в виде дисковой многослойной катушки (рисунок 1) двумя ленточными проводниками 1 и 2, разделенными слоем диэлектрика 3.

К источнику питания подключается начало проводника 1 и конец проводника 2, а соответственно конец проводника 1 и начало проводника 2 остаются разомкнутыми. Подобное подключение приводит к принудительно согласному направлению тока в проводниковых лентах и суммированию магнитных полей, создаваемых этими токами. Ток в ленточных проводниках существует в виде

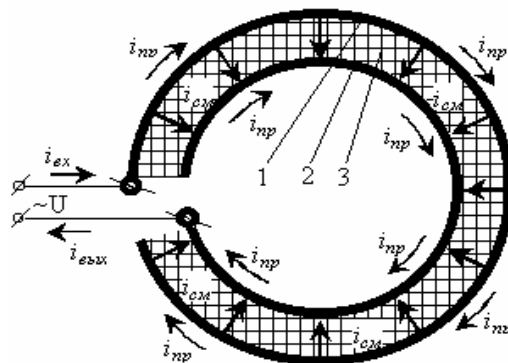


Рисунок 1 – Эскиз индуктора с самокомпенсацией реактивной мощности (один виток)

тока проводимости и замыкается через диэлектрик в виде тока смещения.

Интенсивность суммарного магнитного поля, влияющая на степень нагрева загрузки, зависит от числа ампервитков обмотки индуктора, варьированием которых на частоте источника питания добиваются работы ИС в режиме резонанса с активным входным сопротивлением.

В данном случае в отличие от компенсации посредством сосредоточенных емкостей, мы имеем процесс непрерывной компенсации на протяжении всей длины обмотки индуктора. При этом действие собственной и взаимной индуктивности непрерывно компенсируется распределенной собственной емкостью между разнотенными проводниками обмотки. В итоге отпадает необходимость в использовании средств искусственной компенсации для повышения $\cos\varphi$ индуктора.

Теоретические расчеты показывают, а экспериментальные исследования доказывают возможность использования ИС в индукционной нагревательной установке не только с криогенным охлаждением, но и при охлаждении обмотки водой. Расчеты, проведенные при использовании программного продукта «Rezonans1», созданного в среде «Borland Delphi» для исследования ИС в широком диапазоне влияющих факторов, позволили получить графические зависимости числа витков обмотки ИС $W=F(f)$ и расхода цветного металла на изготовление ИС $G=F(f)$ от частоты источника питания (рисунк 2).

Указанные расчеты проведены для обмотки ИС с внутренним диаметром $D_1=150$ мм, толщиной диэлектрика $\delta=50$ мкм и высо-

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КУЗНЕЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

той обмотки $h=0,1$ м. Из рисунка 2 видно, что число витков скомпенсированной обмотки, как из медного, так и из алюминиевого проводника, близко друг другу независимо от частоты источника питания.

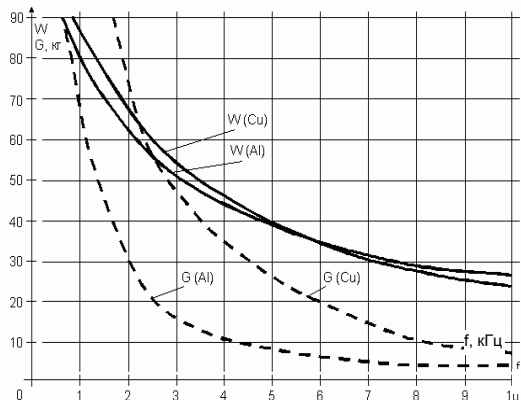


Рисунок 2 – Зависимость числа витков W обмотки индуктора и расхода цветного металла G от частоты f источника питания

Во многих случаях при сравнении различных вариантов ИС показательным может являться не число витков обмотки индуктора, а расход цветного металла, определяемый по формуле

$$G = \pi g h W (2\delta + \Delta_{\text{Э}}) [D_1 + W (2\delta + \Delta_{\text{Э}})],$$

- где g – удельный вес металла обмотки ИС, кг/м³;
 h , – высота, внутренний диаметр обмотки ИС соответственно, м;
 D_1 – диаметр обмотки ИС соответственно, м;
 δ – толщина диэлектрика, м;
 $\Delta_{\text{Э}}$ – глубина проникновения электромагнитной волны в металл обмотки ИС, м.

Анализ рисунка 2 показывает, что наиболее приемлемые массогабаритные показатели обмотки ИС могут быть достигнуты при использовании индуктора в частотном диапазоне 2400 Гц и выше при толщине медного проводника от 0,6 мм и менее, алюминиевого – от 0,8 и менее.

В частотном диапазоне 1000 Гц и ниже, особенно на промышленной частоте 50 Гц обмотка ИС имеет большое число витков (порядка 200), что объясняется увеличением ее длины самокомпенсации и связано с весьма значительным расходом цветного металла.

Уменьшить длину самокомпенсации обмотки индуктора в области промышленной частоты источника питания, существенно уменьшить массогабаритные показатели позволит комбинированный режим работы ИС. При этом за счет эффективности собственных электрофизических и геометрических параметров индуктор достигает околорезонансного режима с преобладающим емкостным характером сопротивления. Доводка его до резонансного режима происходит за счет добавочной емкости, подключаемой к разомкнутым концам обмотки [3].

Использование в индукционных установках индуктора с самокомпенсацией реактивной мощности для нагрева металлических заготовок под пластическую деформацию позволило бы снизить затраты на установку в целом 15÷20% за счет экономии на стоимости конденсаторной батареи основной ступени.

Кроме того, отсутствие необходимости размещения конденсаторной батареи высвобождало бы значительные производственные площади. Например для установки ИНМ-100П-29/70Н-И1 (нагрев стали) – до 35 м², для установки 1ИНМ-75П-40/100НБ (нагрев алюминия и сплавов на его основе) – до 80 м², для установки ИНМ-500П-40/80Н-И1 (нагрев меди и сплавов на ее основе) – свыше 100 м².

Экономия электрической энергии на потерях в конденсаторах и элементах, соединяющих индуктор и конденсаторы, составила бы более 50 тыс. кВт·ч/год на установку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрияшин Н.Ф., Захаров И.В. Особенности расчета многослойных индукторов с самокомпенсацией реактивной мощности // Оптимизация процессов в электротермических установках с применением ЭВМ: Сб. научн. трудов. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1987. – №122
2. Kuvaldin A.B., Andryshin N.F., Zakharov I.V. Analysis of the electrical and energy parameters of a multiplayer inductor with self-compensation of reactive power. «Electrical technology», №3, 1996, Great Britain.
3. Ижикова А.Д., Захаров И.В., Утегулов Б.Б. Способ достижения резонансного режима в индукционных нагревательных устройствах с самокомпенсацией реактивной мощности // IV Сатпаевские чтения: Материалы научной конференции молодых ученых. Т. 6, Павлодар: ПГУ, 2004.