

К вопросу о создании двухчастотного питания для индукторов Исаев И. Н.

*Исаев Игорь Николаевич / Isaev Igor Nikolaevich, - кандидат технических наук, доцент;
кафедра мехатроники, автоматизации и электроники,
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского федерального университета, г. Нижний Тагил*

Аннотация: в статье рассмотрена одна из возможных систем для индукционного нагрева металлов. Автор предлагает оригинальную конструкцию источника электрических сигналов для управления автономными инверторами. Такой источник позволяет получать частоты управляющих сигналов в большом диапазоне. При этом появляются дополнительные возможности для системы питания индуктора практически без искажений тока.

Ключевые слова: актуальный способ индукционного нагрева; анализ нелинейности намагничивающего тока.

Анализ необходимости применения двухчастотного нагрева металлов в индукторе выполнен во многих современных работах, например в [1,2]. Показано, что наиболее эффективными источниками питания индукторов являются системы с двумя преобразователями частоты: для низкой и высокой. В настоящей статье реализован тот же принцип, но с существенными отличиями.

Общий вид предлагаемой системы показан на рис.1. При этом использована модель в программе MatLAB, которая применялась при проведении экспериментов и представлении основных результатов. Силовая часть включает индуктор и его источники питания. При выполнении моделирования и расчётов индуктор, как обычно, представляется в виде RL - нагрузки. В качестве источников питания применяются два преобразователя частоты: INV1 – для низкой частоты и INV2 – для высокой частоты. В качестве выпрямителей для этих преобразователей в модели использованы источники постоянного равного напряжения. В [1] обоснована необходимость трансформаторной потенциальной развязки источников питания и нагрузки. В [3] для этой цели, а также для согласования напряжений этих элементов силовой части показана эффективность применения трансформаторов с магнитопроводами на базе аморфных или нанокристаллических сплавов. Это обеспечит меньшие массогабаритные показатели, меньшие потери, меньший нагрев. В работе предлагается использовать трёхобмоточный трансформатор, где обмотка 1 – для подключения напряжения с низкой частотой, обмотка 2 – для питания от высокочастотного преобразователя, обмотка 3 - нагрузочная обмотка для подключения индуктора. Таким образом, в системе происходит электромагнитное суммирование напряжений разной частоты. Очевидно, что при такой нагрузке наиболее актуально применение трансформаторов из вышеназванных материалов. Кроме того, необходимо проведение экспериментов с учётом возможного гистерезиса. Для этого в модели использовался нелинейный трансформатор с задаваемой петлёй гистерезиса.

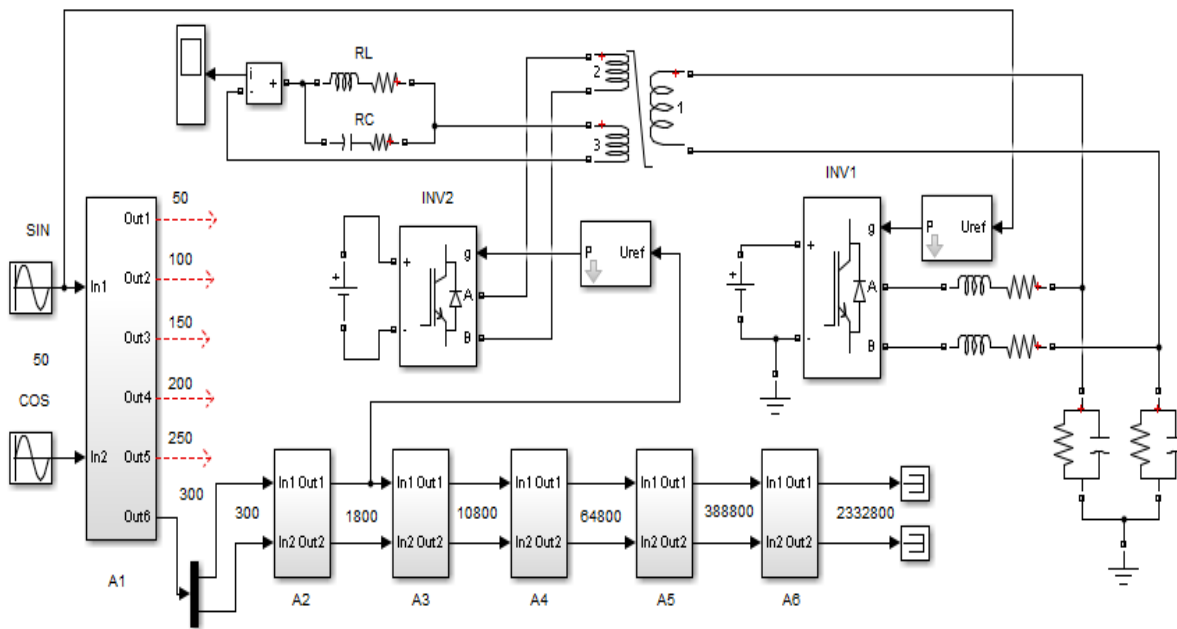
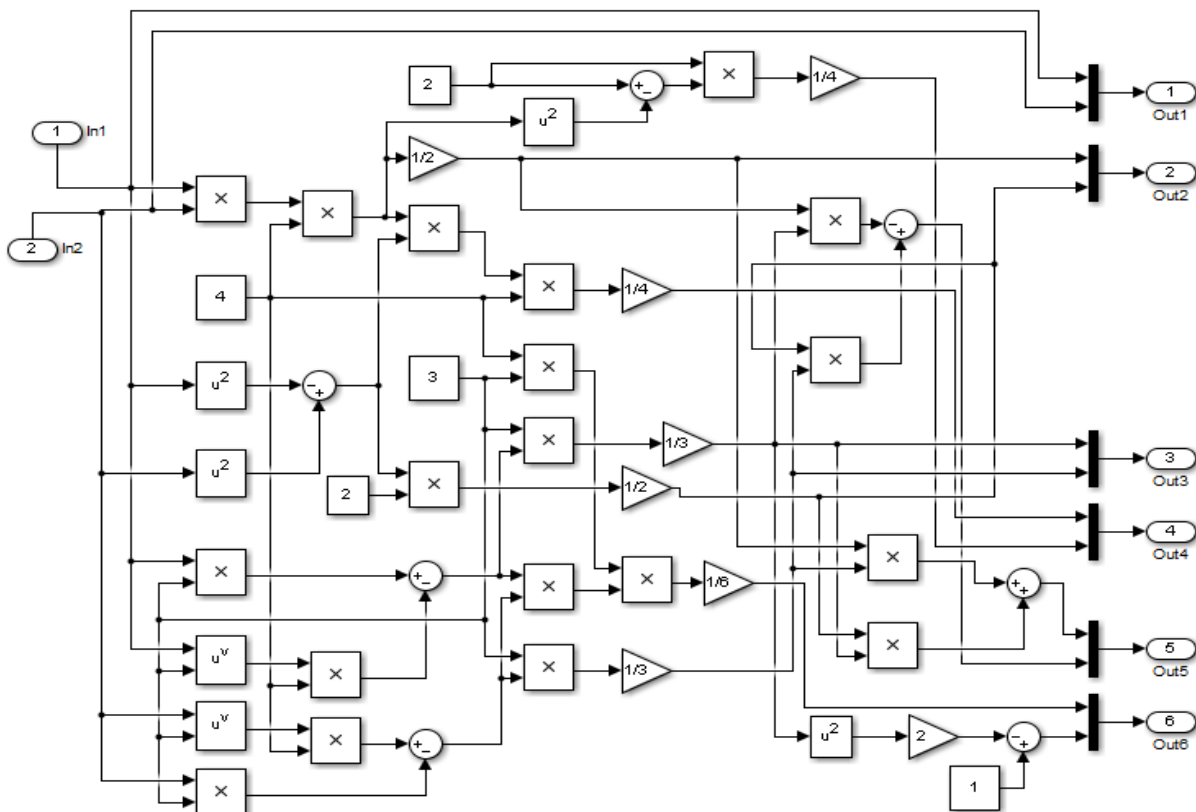


Рис.1. Модель системы индукционного нагрева

На выходе инвертора низкой частоты включены сопротивления, индуктивности и ёмкости, образующие известную цепь для компенсации реактивной энергии и сглаживания пульсаций тока в обмотке 1. В обмотке 3 параллельно нагрузке включены сопротивление и ёмкость. В результате, как это будет показано далее, образовался контур, где подключенные элементы существенно влияют на амплитуду колебаний тока в нагрузке. Управляющая часть системы представляет собой некоторое количество одинаковых генераторов с гармоническими сигналами разной частоты на выходе (блоки A1 – A6). Sin и Cos этих сигналов являются входными для следующего генератора. Конструкция каждого блока, предложена автором в [4] и представлена на рис. 2.

Рис.2. Принципиальная схема генератора различной частоты



Гармонические напряжения на всех частотах не имеют искажений, так как вычисляются по известным из тригонометрии формулам двойных, тройных и половинных углов. На выходе каждого генератора можно получить набор из шести частот: каждая отличается от входной в 1, 2, 3, 4, 5, 6 раз. На рис.1. для блока А 1 показаны значения этих частот при входной частоте 50 Гц. Для других блоков показаны частоты входных сигналов, которые являются выходными предыдущих блоков с максимальной частотой. Таким образом, от блока к блоку эта частота увеличивается в шесть раз. Теоретически их количество неограниченно, но практически в каждом блоке возникают небольшие нелинейные искажения, поэтому их количество более шести неэффективно.

На рис. 3 показан пример двухчастотного тока индуктора $I(A)$ при низкой частоте 50 Гц и высокой – 1800 Гц. Как было сказано ранее, изменение параметров RC в цепи индуктора позволяет изменить амплитуду высокочастотных колебаний более чем в два раза.

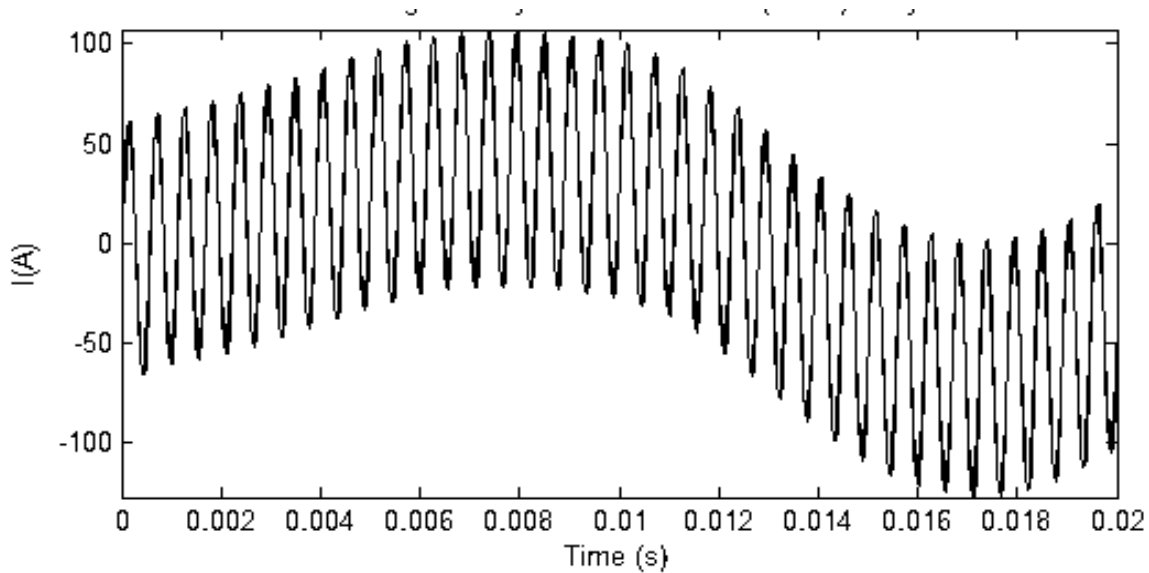


Рис. 3. Пример двухчастотного тока индуктора

Гармонический состав тока индуктора представлен на рис.4., откуда следует, что подавляющая активность в токе имеет фундаментальная частота (принята 50 Гц) и высокая частота (выбрана в качестве примера 1800 Гц). Использование в модели нелинейного трансформатора для учёта гистерезиса, как это следует из этого рисунка, показывает, что большая загруженность трёхобмоточного трансформатора не приводит к нелинейным искажениям тока.

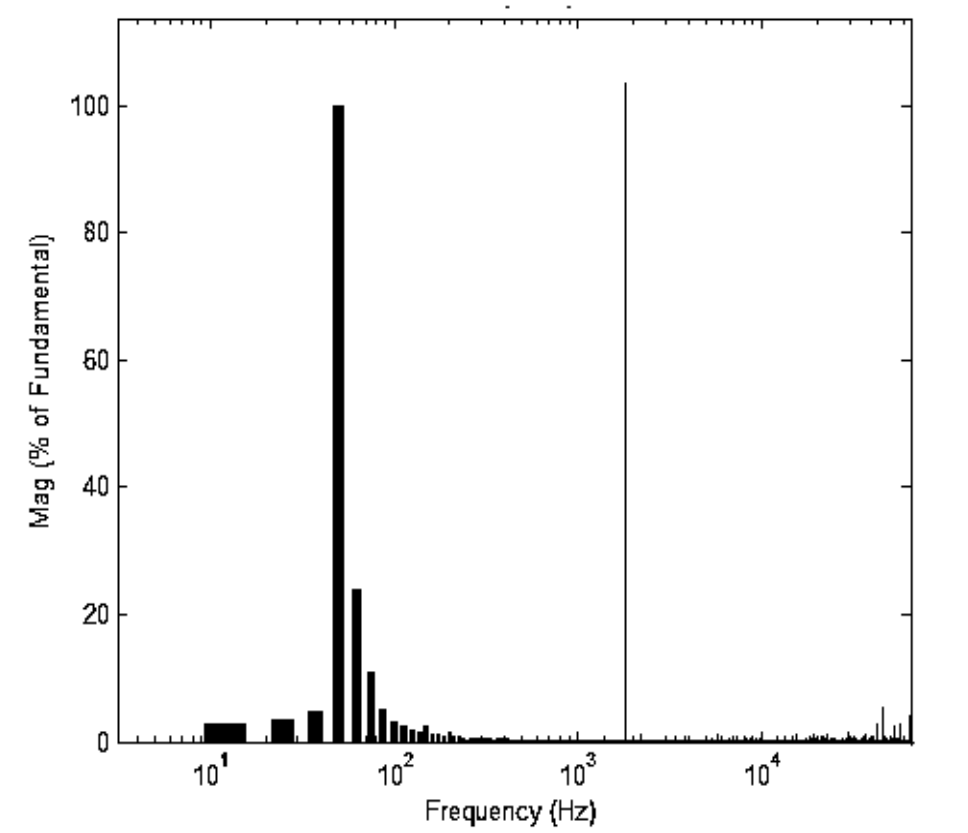


Рис. 4. Эффективность частот из спектра тока индуктора

Выбор в качестве примера частоты 1800Гц, объясняется необходимостью наглядно представить результаты. Аналогичные выводы получаются при использовании выходных частот блоков А2, А3, А4 и А5. Представляет интерес появление третьей составляющей частоты в токе индуктора при использовании управляющих сигналов для преобразователя INV2 с выхода блока А5 (максимальная частота 388800 Гц.). Дополнительные частоты, возникающие в токе – 800, 1600 и 2400 Гц в зависимости от выбранной частоты (из возможных шести) на выходе А5. На рис. 5. Показан график тока с тремя составляющими частотами: низкая – 50 Гц, средняя – 800 Гц и высокая - 388800 Гц.

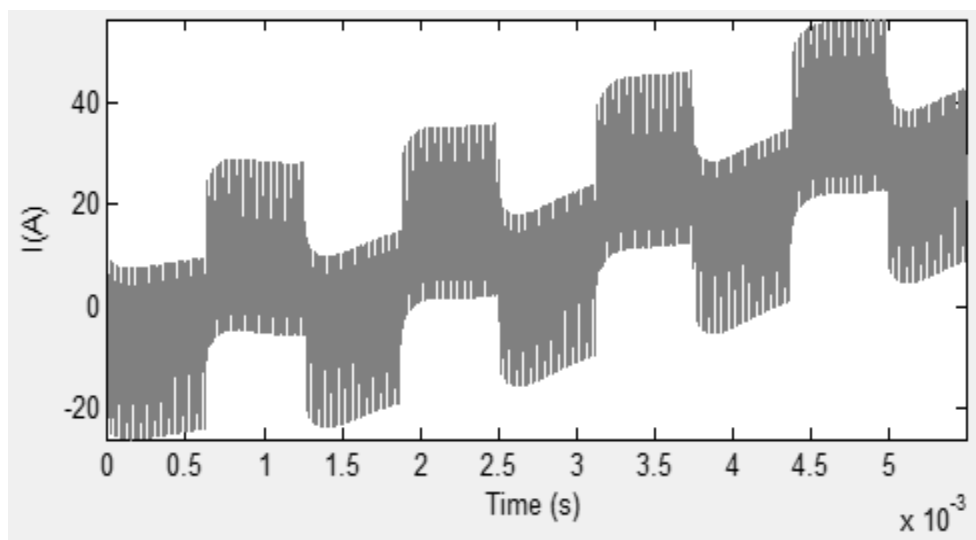


Рис.5. График тока индуктора из трёх частот.

Появление средних частот объясняется возникновением резонансных явлений в связи с присутствием реактивных элементов в силовой части. Практическое применение этого результата возможно, например, для питания индукторов, где требуется наиболее интенсивный разогрев металла.

Литература

1. *Дзиев С. В.* Принципы построения систем питания установок индукционной закалки зубчатых колес при двухчастотном нагреве // Actual Problem Induction Heating 05: Матер. Междунар. конф. – СПб.: Издво СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – С. 193–201.
2. *Земан С. К., Казанцев Ю. М., Осипов А. В., Юшков А. В.* Формирование двухчастотных колебаний тока в системах индукционного нагрева. / Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. С. 105–111.
3. *Рогинская Л. Э., Горбунов А. С.* Трансформаторно - индукторный комплекс с последовательным включением конденсатора в цепь нагрузки. / Современные проблемы науки и образования; Выпуск № 6 / 2013 С. 45–61.
4. *Исаев И. Н.* Один из способов скалярного управления электроприводом. / Наука, техника и образование / Москва. – 2014. - №4, С. 16-21.