

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В ИМПУЛЬСНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ СИСТЕМЫ ИНЖЕКЦИИ
БЕТАТРОНА**

А.П. Шестак, Н.Ж. Тойбаев

Научный руководитель: А.П. Шестак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050.

E-mail: toibayevnurlan@gmail.com

LOSS REDUCING IN PULSE TRANSFORMER OF BETATRON INJECTION SYSTEM

A. P. Shestak, N.J. Toibayev

Scientific Supervisor: A.P. Shestak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: toibayevnurlan@gmail.com

***Abstract.** Present betatrons have limited operating frequency, which is no more than 400 Hz. It's caused by thermal operating mode of betatron elements. High voltage injection system is the one of betatron elements. The highest thermal losses is observed in core of impulse transformer. Too high thermal losses in pulse transformer core causes distortion of high voltage injection pulse shape and break the electron capture condition. That's why the betatron dose rate is decreased.*

Введение. Современные бетатроны имеют предельную рабочую частоту не более 400 Гц. Это связано с тепловыми режимами работы различных элементов бетатрона. К таким элементам относится система высоковольтной инжекции. Наибольшие тепловые потери системы инжекции наблюдаются в сердечнике импульсного трансформатора. Чрезмерно большие потери в сердечнике импульсного трансформатора приводят к искажению формы импульса напряжения инжекции и нарушают условия захвата электронов, из-за чего снижается доза тормозного излучения.

Механизмы образования потерь. В магнитопроводе выделяют два вида магнитных потерь: потери от гистерезиса и потери от вихревых токов. Существует еще один механизм образования потерь в ленточных магнитопроводах импульсного трансформатора, влияние которого становится ощутимо при достаточно больших значениях скорости изменения магнитного потока. При намотке сердечника происходят локальные замыкания по краям смежных слоев ленты, и возникает проводимость между соседними слоями. В результате этого образуются контуры тока, что приводит к дополнительным потерям.



Рис. 1. Разрезной ленточный магнитопровод.

Способы снижения потерь. В данной работе рассмотрен последний механизм образования потерь и предложен способ его подавления. Была рассмотрена и подтверждена возможность проведения электроэрозионной обработки одной из боковых сторон ленточного магнитопровода.

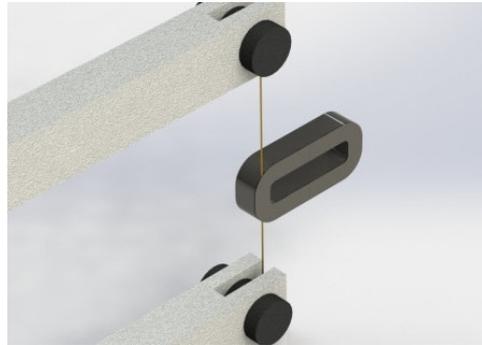


Рис. 2. Электроэрозионная обработка.

Электроэрозионная обработка не оказывает механического воздействия на кристаллическую структуру магнитного материала, а высокая скорость протяжки проволоки удаляет тонкие слои компаунда в зоне реза.

Экспериментальная часть. Для оценки эффективности предложенного способа снижения магнитных потерь были измерены ток холостого хода небольшой партии ленточных магнитопроводов до и после электроэрозионной обработки.

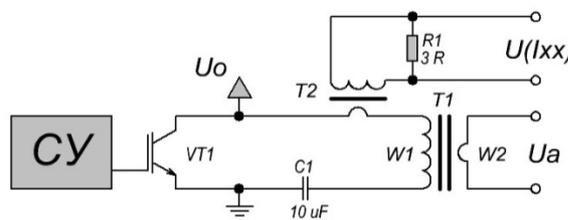


Рис. 3. Схема измерения тока холостого хода

Импульсный трансформатор T1 представляет собой каркас с обмотками W1 и W2, в который устанавливались тестируемые ленточные сердечники. T2 – трансформатор тока для измерения тока в цепи первичной обмотки. Обмотка W2 состоит из одного витка и позволяет определять значение U_a .



Рис. 4. Ленточные магнитопроводы (слева до обработки, справа после обработки).

Результаты. Согласно результатам проведённых измерений, снижение тока холостого хода и, следовательно, магнитных потерь в тестируемых сердечниках в среднем составило более 14%. Приведённая оценка не учитывает три сердечника с номерами 6, 15 и 25, так как данные образцы показали снижение тока холостого хода, значительно превышающее среднее значение, рис. 5. Таким образом, можно увидеть возможный уровень вклада потерь на боковое замыкание в суммарные потери в магнитопроводе. Однако несколько сердечников показали обратный эффект – у образцов с номерами 3, 9, 17 и 19 наблюдается незначительное повышение тока холостого хода. Объяснить подобный результат можно предположив, что у данных образцов потери на боковое замыкание слоев были изначально низкие. А повышение тока холостого хода произошло в результате уменьшения сечения магнитопроводов при обработке.

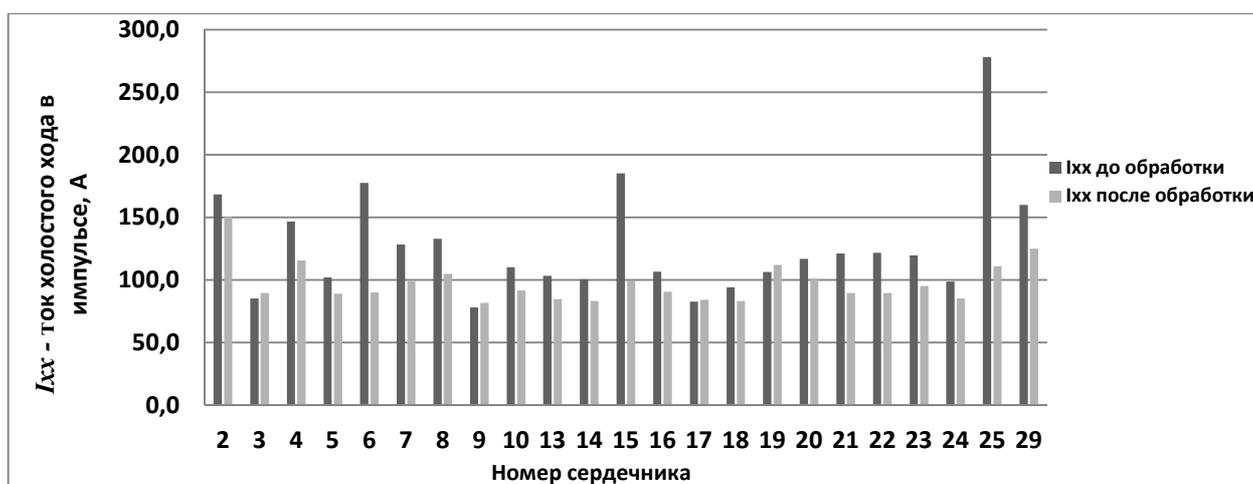


Рис. 5. Гистограмма измерений тока холостого хода

Заключение. Предложенный нами способ снижения магнитных потерь в импульсном трансформаторе системы инъекции может быть использован при разработке высокочастотного бетатрона для систем промышленной томографии и досмотровых систем грузового транспорта. Кроме того, электроэрозионная обработка дает возможность работать с лентой из аморфных сплавов с толщиной менее 0.05 мм без существенной деформации кристаллической структуры ферромагнитного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москалёв В.А., Сергеев Г.И. // Индукционный ускоритель электронов – бетатрон: учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета – 2012. –312 с.
2. Прецизионные сплавы: Справочник / Под ред. Б.В. Молотилова. М.: Металлургия, 1983.
3. И.В. Лавринович, Н.В. Жарова и др. Малогабаритный источник импульсного рентгеновского излучения для высокоскоростной радиографии // ПТЭ. 2013, № 3, с.90 – 96.
4. <http://www.youtube.com/watch?v=XquokGq5654> – Электроэрозионная резка трансформаторной стали.
5. A. A. Filimonov, S.V. Kasyanov, V.A. Kasyanov. Special aspects in designing high-frequency betatron. Journal of Physics: Conference Series 671 (2016) 012023. DOI:10.1088/1742-6596/671/1/012023