

Оптимизация конструкции медных шин

для соединения накопителей энергии

Статья посвящена численному моделированию различных конструкций медных шин для соединения накопителей энергии. В результате работы выбран способ соединения между элементами на основе распределения плотности тока и температуры в медных проводниках.

Анастасия Зимакова

nastya.zimakova@mail.ru

Наталья Сапоненко

Медные пластины

При проектировании устройств силовой электроники возникает необходимость корректного выбора способа соединений между элементами, подбора формы сечения проводника. Зачастую в качестве проводника, с точки зрения технико-экономических показателей, используется медная шина. Форма и размеры сечения шины выбираются исходя из следующих общих требований:

- соответствие максимальным возможным токам;
- обладание достаточной термической стойкостью в режимах короткого замыкания;
- конструкция шин должна выдерживать механические нагрузки, создаваемые собственной массой.

На рис. 1 представлены три составные накопителя, которые подключены параллельно. В каждом накопителе конденсаторы соединены четырьмя

медными пластинами с размерами 1550×500×2 мм. Максимальное значение тока, протекающего в пластине, равно 4500 А. На рис. 2 представлена форма тока, протекающего в медной пластине.

Для оценки распределения плотности тока и температуры в медных пластинах было проведено численное моделирование системы на основе метода конечных элементов в программном пакете ANSYS. На рис. 3 представлено распределение плотности тока в медной пластине.

Медные пластины соединены узкими шинами с сечением 100×20 мм. Масса одной пластины 78 кг. Среднее значение плотности тока равно 0,8 А/мм², а максимальное — 2,3 А/мм², что не превышает предельно допустимое значение. Распределение плотности тока в пластинах равномерное. Краевые эффекты проявляются в местах соединения пластин.

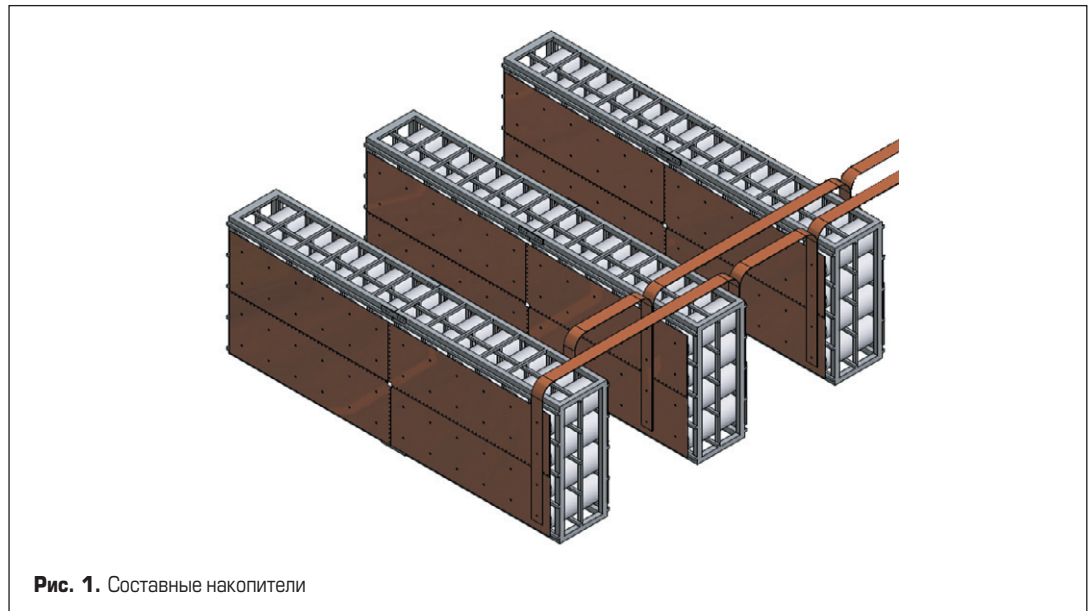
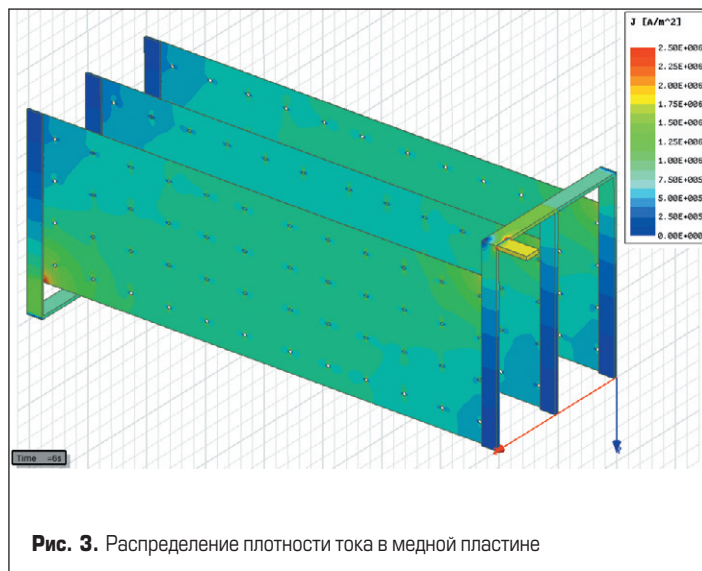
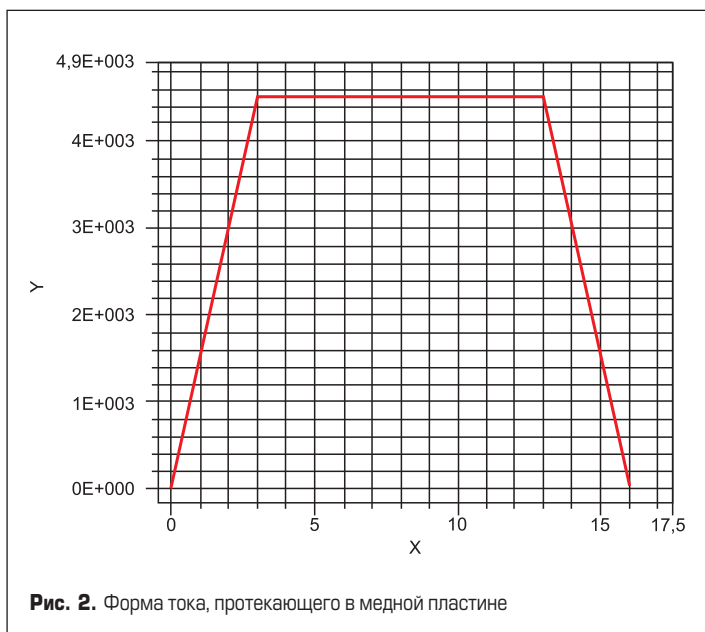


Рис. 1. Составные накопители



удобно присоединять плоские контакты аппаратов. Максимальные размеры однополюсных медных шин по условиям прочности составляют 120×10 мм, их предельная токовая нагрузка — 2,65 кА. Сечение плоских шин выбирают по плотности тока. Для медной неизолированной шины плотность тока равна 2,5 А/мм² [3]. Таким образом, необходимо выбрать размер сечения узкой медной шины в соответствии с представленными ранее требованиями.

Узкие шины прямоугольного сечения

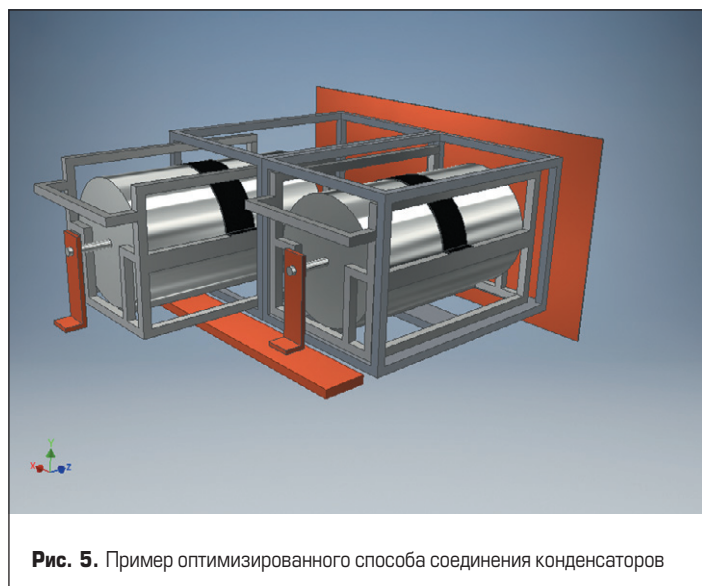
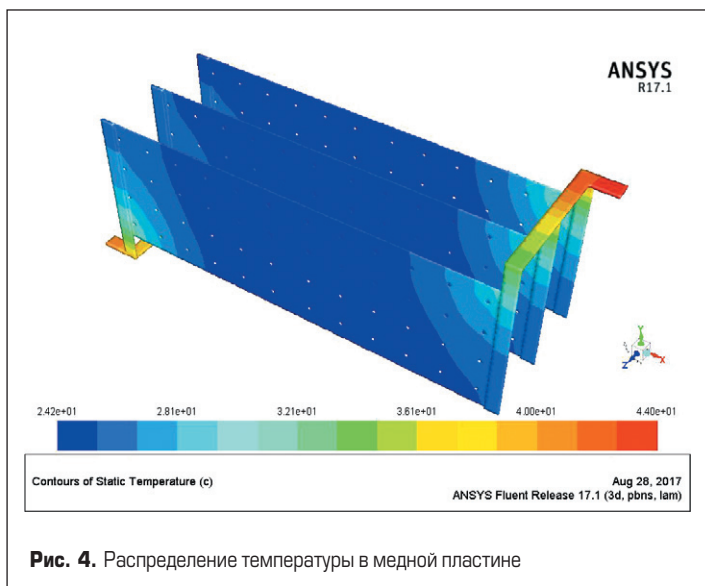
Токоведущая шина прямоугольного сечения проста в изготовлении и удобна при монтаже. В рассматриваемой системе для соединения конденсаторов в одном накопителе необходимо четыре узкие медные шины. Минимальное сечение одной шины:

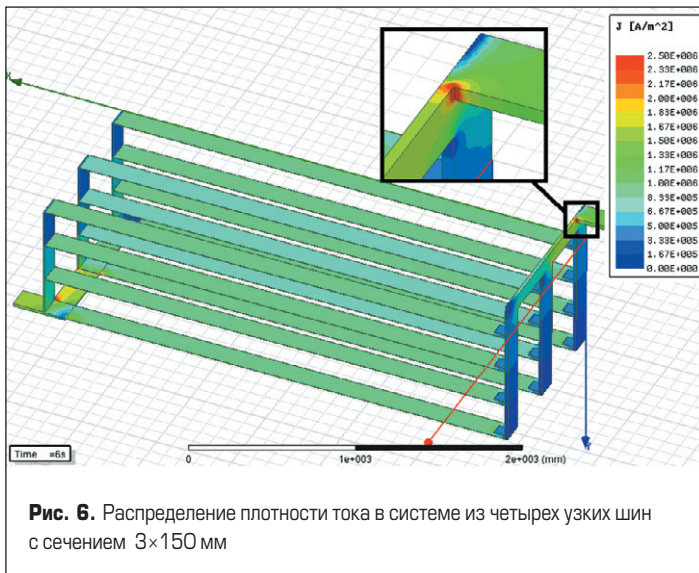
$$S = \frac{I}{4 \times j},$$

где $I = 4500$ А, $j = 2,5$ А/мм².

$$S = \frac{4500}{4 \times 2,5} = 450 \text{ мм}^2.$$

Толщина и ширина шины выбирается так, чтобы площадь поверхности была наибольшей. Кроме того, шина должна соответствовать требованиям по условиям прочности. Пусть толщина шины равна 3 мм, тогда ее ширина равна 150 мм.





На рис. 6 представлено распределение плотности тока в системе для соединения трех накопителей, в каждом из которых четыре узкие медных шины с сечением 3×150 мм.

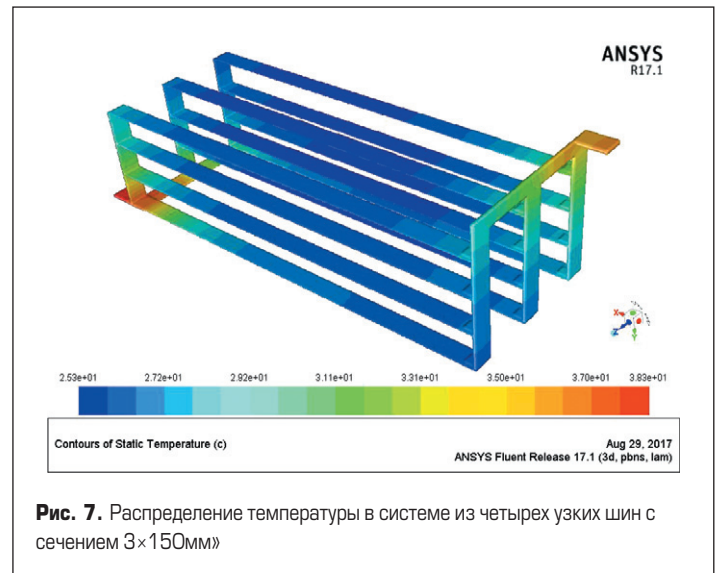
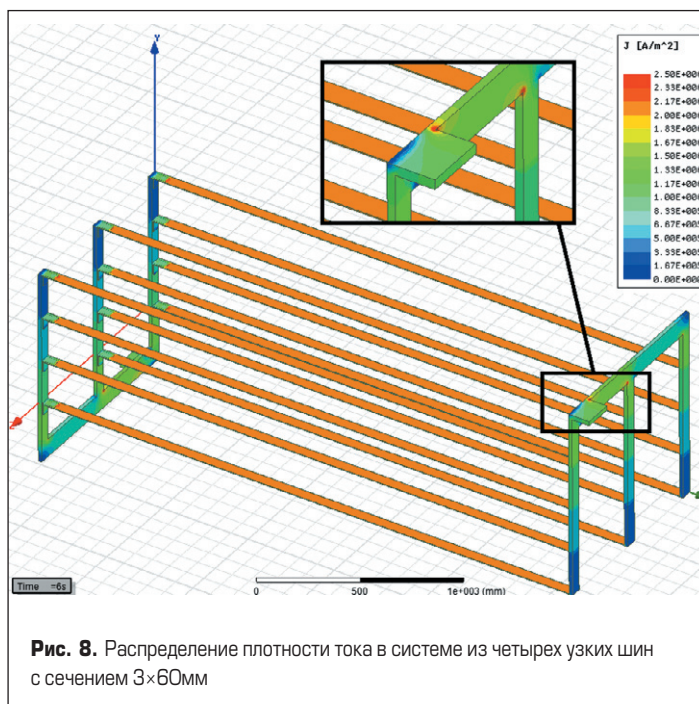
Масса шин, соединяющих один накопитель, 80 кг. Среднее значение плотности тока 0,9 А/мм², а максимальное — 2,42 А/мм², что не превышает предельно допустимое значение. Распределение плотности тока по шинам равномерное. Краевые эффекты проявляются в местах соединения шин между собой.

Распределение температуры в момент времени 16 с в системе из четырех узких шин представлено на рис. 7.

Максимальное значение температуры на поверхности системы для трех накопителей, в каждом из которых четыре узкие медные шины, составляет +36 °С, а среднее — +26 °С. Таким образом, температура в такой системе не превышает предельно допустимых значений.

Результаты моделирования замены медных пластин на узкие шины показали, что такая конфигурация соответствует всем требованиям. Для уменьшения массо-габаритных показателей можно уменьшить ширину шины в 2,5 раза, тогда сечение одной шины будет 180 мм². На рис. 8 представлено распределение плотности тока в системе из четырех узких медных шин с сечением 3×60 мм.

Масса шин, соединяющих один накопитель, равна 35 кг. Среднее значение плотности тока 2 А/мм², а максимальное — 2,5 А/мм², что не превышает предельно допустимое значение. Распределение плот-



ности тока по шинам равномерное. Краевые эффекты проявляются в местах соединения шин между собой.

Распределение температуры в момент времени 16 с в системе из четырех узких шин представлено на рис. 9.

Максимальное значение температуры на поверхности системы для трех накопителей, в каждом из которых четыре узкие медные шины, равно +46 °С, а среднее значение — +30 °С. Таким образом, температура в такой системе не превышает предельно допустимых значений.

Результаты численного моделирования наглядно показывают зависимость плотности тока в проводнике и температуры на его поверхности от размеров сечения этого проводника. В ходе исследования были рассмотрены два варианта размеров сечений медных шин для соединения конденсаторов в накопителе энергии. Наилучшим, с точки зрения массо-габаритных и технических показателей, является последний рассмотренный вариант. Сечение узких медных шин 3×60 мм. Масса такой системы в 2,2 раза меньше, чем у системы из медных пластин. Таким образом, был выбран наиболее оптимальный способ соединения конденсаторов в накопителе энергии.

Литература

1. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. ГОСТ 8024-90 «Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний».
3. Правила устройства электроустановок. <http://docs.cntd.ru/document/120003114>

