

УДК 621.315.55+005.591.1

DOI:10.53297/18293328-2026.1-44

ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ СТОРОН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ШИН В ШИНОПРОВОДАХ ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Н.П. Бадалян, Г.Ф. Долгов

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Статья посвящена вопросам снижения омических потерь передачи электроэнергии в шинопроводах пакетной конструкции с алюминиевыми шинами прямоугольного сечения, по которым протекают токи промышленной частоты 50 Гц. Обосновывается выбор САЕ системы, построенной на методе конечных элементов, с помощью которой проводятся исследования. Оценивается влияние конструктивных параметров шин и шинопровода на величины потерь энергии. Это такие параметры, как соотношение размеров сторон сечения шины, расстояние между шинами. В итоге даются рекомендации для разработчиков шинопроводов по снижению потерь энергии. Задача снижения потерь в линиях электропередач всегда была и остается актуальной. В качестве линий электропередач все шире используются шинопроводы. На объектах электроснабжения применяются шинопроводы различных конструкций, начиная с 50-ых годов прошлого века. Они показали свою надежность, удобство монтажа, эксплуатации и ремонта, простоту обслуживания. Поэтому в настоящее время во многих проектах электроснабжения, особенно связанных с магистральными и распределительными сетями, внедряются шинопроводы.

Магистральные шинопроводы применяют на переменном токе для соединения трансформатора с главным распределительным щитом, либо с вводным распределительным устройством, или в блоке трансформатор – магистраль. На постоянном токе их применяют для выполнения электрических сетей в промышленных установках постоянного тока на напряжение до 1200 В.

Распределительные шинопроводы применяют для выполнения магистралей с большим числом подсоединений различных потребителей, а также для подачи питания на осветительных шинопроводах.

Троллейбусные шинопроводы используются для питания цеховых электроприемников подвижного состава, например, кранов (мостовых, кран-балок), перемещения талей, подъемников и т.д.

Ключевые слова: шинопровод, поверхностные токи, потери мощности, омические потери, геометрические параметры, аналитическое моделирование, численное моделирование, системы САЕ.

Введение. Наиболее известной и часто используемой современной конструкцией магистрального шинопровода является пакетная конструкция, которая включает в себя от трех до пяти изолированных шин прямоугольного сечения, расположенных параллельно и помещенных в корпус. В распространенных шинопроводах прямоугольное сечение шин обеспечивает следующие преимущества:

- компактная конструкция;
- небольшие активные и индуктивные сопротивления, приводящие к малым потерям напряжения и мощности в шинопроводе;
- благоприятные условия охлаждения токоведущих частей;
- негорючесть и неогнепроводность;
- высокая технологичность монтажа;
- повышенная устойчивость к перегрузкам, например, при коротких замыканиях.

Корпус шинопровода выполняет несколько функций: защита от механических и климатических воздействий, экранирование электрического и магнитного поля, обеспечение безопасности эксплуатации, отвод тепла от шин и пр. В зависимости от типа распределительной сети, шинопроводы широко представлены либо с совмещенными (четырёхшинная конструкция), либо с отдельными (пятишинная конструкция) защитным и рабочим проводниками. При этом в качестве нулевого проводника часто используют корпус шинопровода. Простота производства и относительно небольшая стоимость технологического процесса позволили рекомендовать пакетную конструкцию относительно иных типов конструкций.

Выбор материала и размеров прямоугольных сечений шин определяется величинами токов, протекающих в шинах. Стандартный подход при проектировании линий электропередач, закрепленный в правилах

устройства электроустановок (ПУЭ), заключается в определении площади сечения проводника по току, который этот проводник проводит, а под рассчитанную площадь подбирают размеры сторон сечения. Такой подход предполагает, что плотность тока по сечению проводника остается неизменной. Однако реальная плотность тока в различных точках сечения проводника из-за наличия вихревых токов, возникающих при передаче электроэнергии на переменном токе, приводит к поверхностному эффекту и эффекту близости, что, в свою очередь, вызывает неравномерную плотность тока по сечению проводника, увеличивает его омическое сопротивление, потери передаваемой электрической энергии и нагрев шин. Как потери энергии, так и нагрев – негативные факторы, значения которых стремятся уменьшить. Потери увеличивают стоимость получаемой электроэнергии, а нагрев, в свою очередь, ухудшает характеристики изоляционных материалов, дополнительно увеличивая в них потери, скорость старения материала, снижая электрическую прочность, срок службы и пр.

Величина влияния поверхностного эффекта на потери электроэнергии в шине во многом зависит от минимального размера стороны сечения шины. Размер меньшей стороны (а значит, и потерь) при той же площади прямоугольного сечения шины, в свою очередь, зависит от соотношения сторон прямоугольника. На текущий момент требований к соотношению сторон прямоугольных сечений в нормативной документации нет. Поэтому возникает вопрос об оптимальных значениях указанного параметра шинопровода. Получив оптимальные значения соотношения сторон прямоугольных сечений, можно оценить экономическую эффективность как при модернизации систем электроснабжения с шинопроводами, находящимися в эксплуатации, так и при проектировании новых конструкций шинопроводов.

Другим фактором, влияющим на потери энергии в шинах, является эффект близости, под влиянием которого плотность тока также перераспределяется по сечению шины, изменяя ее сопротивление переменному току.

Также возможно влияние на величину потерь порядка следования шин в пакете, в том числе места расположения шин с нулевым потенциалом.

Цель работы – определить оптимальные конструктивные параметры шинопроводов, проводящих переменный ток промышленной частоты, с точки зрения снижения потерь электроэнергии.

Для достижения обозначенной цели нужно решить следующие задачи:

- выбрать методы и средства исследования (в том числе программное обеспечение);
- провести теоретические исследования и найти оптимальные соотношения сторон прямоугольного сечения шины, порядок расположения шин в пакете;
- выработать рекомендации для проектировщиков шинопроводов.

Методы исследования. Решение оптимизационных задач наиболее эффективно с помощью математического моделирования [2]. Электрический ток, возникающий в проводнике, является результатом воздействия электромагнитного поля на проводник. Основой аналитической модели, связывающей плотность тока с параметрами электромагнитного поля, электрофизическими параметрами материалов конструкции, формой и размерами элементов конструкции, являются уравнения в частных производных Максвелла [3]. Аналитическое решение задач, описываемых уравнениями в частных производных, возможно только для ограниченного круга простейших конструкций. Если конструкция не простейшая, то аналитически решить задачу, описываемую уравнениями в частных производных, с приемлемой для практических задач точностью, не получится. В этом случае прибегают к численным методам решения указанных задач [4]. В настоящее время наиболее часто применяют метод конечных элементов, заложенный в ряд программных пакетов, предназначенных для решения инженерных задач, которые относят к системам САЕ (англ. Computer-aided engineering). Разработчики систем САЕ гарантируют высокую точность моделирования конструкций.

Одной из систем САЕ, признанной во всем мире адекватной, позволяющей моделировать электродинамические процессы, является

ANSYS (далее «система САЕ») [5]. Эту систему и будем использовать для решения поставленной задачи оптимизации. Оценим точность результатов расчета в системе САЕ потерь электрической энергии в проводнике при наличии скин-эффекта. Такая проверка может быть выполнена сравнением результатов моделирования в системе САЕ, либо с результатами физического эксперимента на реальной конструкции, либо с результатами аналитического моделирования, точность которых не вызывает сомнений. Достоверность аналитического расчета влияния скин-эффекта на перераспределение тока в цилиндрическом проводнике не вызывает сомнений. Поэтому сравним результаты моделирования скин-эффекта в цилиндрическом проводнике, полученные с помощью аналитической модели, с результатами, полученными в системе САЕ.

Аналитически определить влияние скин-эффекта на увеличение потерь в цилиндрическом проводнике можно, воспользовавшись калькуляторами скин-эффекта на сайте «Скин-эффект в проводнике» [6]. В калькуляторе заложены известные математические выражения, не вызывающие сомнений. На рис. 1 приведены исходные данные и результаты расчета отношения сопротивлений цилиндрического проводника к переменному и постоянному току. Чем больше указанное соотношение, тем больше будут потери энергии от скин-эффекта.

Частота, f	150	Гц ▾
Удельное сопротивление, ρ (Ом*мм ² /м)	0.0172	
Относит. магнитная проницаемость, μ_r	1	
Вычислить		
Толщина (глубина) скин-слоя, δ (мм)	5.3894	

Диаметр провода, d (мм)	11,3
Глубина скин-слоя, δ (мм)	5.3894
Вычислить	
Отношение R/ δ	1.0484
Отношение R _{перемен} /R _{постоян}	1.0277

Рис. 1. Аналитический расчет отношения сопротивлений цилиндрического проводника переменному и постоянному току

Омические потери энергии в проводнике определяются по формуле $P=I^2 \cdot R$ [7]. Учитывая, что сопротивление переменному току частотой 150 Гц цилиндра диаметром 11.3 мм выше сопротивления того же цилиндра постоянному току в 1,0277 раза, соответственно и потери энергии в цилиндре переменному току частотой 150 Гц оказываются больше потерь энергии постоянному току в том же количестве в 1,0277 раза.

Моделирование протекания тока в том же цилиндре с теми же параметрами материалов в системе САЕ дает аналогичный результат (совпадение до пятого знака). Это значит, что результатам моделирования протекания тока в проводниках с учетом скин-эффекта, полученным в системе САЕ, можно доверять.

Оценка влияния соотношения размеров прямоугольного сечения на потери. Известен график зависимости эффективности прямоугольных сечений шинопроводов с различным соотношением сторон сечений, по которым протекает переменный ток частотой 50 Гц средней плотностью 1 МА/м², при различных значениях тока [8] (рис. 2). Несмотря на то, что указанный график получен с большими погрешностями, он показывает тесную связь потерь электроэнергии в шинах прямоугольного сечения с соотношением сторон прямоугольника. Эффективность сечений, указанная на графике, определяется как отношение потерь мощности в проводнике с учетом скин-эффекта к потерям мощности в проводнике без учета скин-эффекта. По представленной зависимости можно понять, что наибольшие потери энергии происходят в квадратных сечениях. Чем больше соотношение сторон прямоугольного сечения при неизменной площади, тем меньше потери. С физической точки зрения, это логично, так как в квадратных сечениях (соотношение сторон прямоугольника равно 1) внутренние слои дальше отстоят от поверхности проводника и плотность тока в таких слоях значительно уменьшается. С увеличением величины протекающего тока и, соответственно, с увеличением площади сечений эффективность сечений снижается.

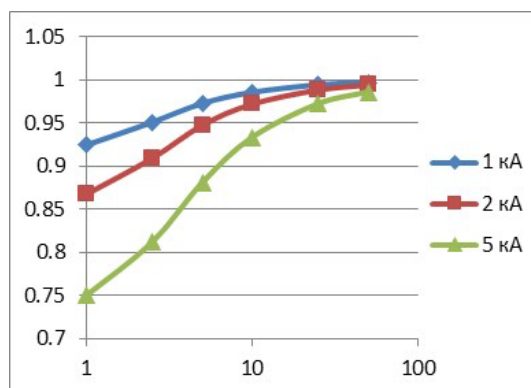


Рис. 2. Зависимость эффективности сечений от соотношения сторон прямоугольника

Таким образом, для снижения потерь электрической энергии в отдельно расположенных шинах целесообразно увеличивать соотношение сторон прямоугольных сечений (оптимальное значение – бесконечность). С другой стороны, с конструкторской позиции, обеспечивать значительную разницу в размерах сторон прямоугольника нецелесообразно, так как это вызывает значительные увеличения габаритных размеров сечений, снижение жесткости шин, увеличение затрат на диэлектрические и крепежные элементы. С учетом указанных факторов авторами рекомендуется использовать шины прямоугольного сечения с соотношением сторон один к десяти.

Оценку влияния эффекта близости на эффективность сечений шинопроводов будем проводить на шинопроводе стандартного сечения размером $25 \times 250 \text{ мм}^2$ при протекании в шине гармонического тока с действующим значением $I=6.25 \text{ кА}$ (амплитудой $8,8 \text{ кА}$). Усредненная по сечению плотность тока при этом составит 1000 кА/мм^2 , что соответствует определенной правилами устройства электроустановок экономической плотности тока в алюминиевых шинах при максимальной нагрузке более 5000 час в год [9, табл. 1.3.36].

Поля плотностей тока в сечении шины, рассчитанные в системе САЕ на частотах 0 и 50 Гц, показаны на рис. 3. На рисунке также приведены рассчитанные в системе САЕ погонные (одного метра длины) значения сопротивлений, индуктивностей и потерь мощностей шины на указанных частотах.

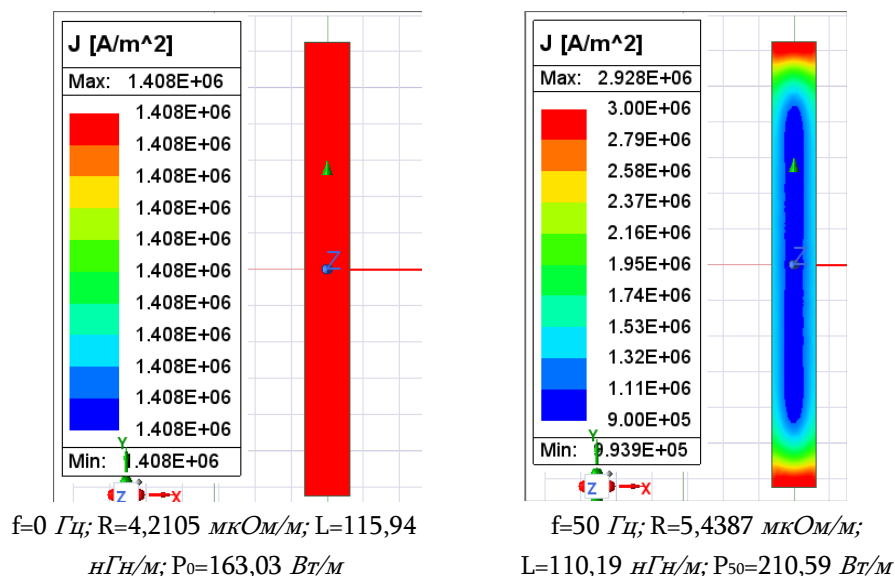


Рис. 3. Поля плотностей тока в сечении шины, погонные сопротивление R , индуктивность L и потери мощности P на частотах 0 и 50 Гц

Аналитически погонное сопротивление шины без учета вихревых токов можно рассчитать по формуле $R=1/(6 \cdot S)$, где $6=38$ МСм/м – удельная проводимость материала (алюминия) шины; $S=0,25 \cdot 0,025=6,25 \cdot 10^{-3}$ м² – площадь сечения шины.

Тогда $R=1/(38 \cdot 10^6 \cdot 6,25 \cdot 10^{-3})=4,2105$ мкОм/м.

Потери мощности определим по формуле $P=I^2 \cdot R$. При этом $P=6250^2 \cdot 4,2105 \cdot 10^{-6}=163,03$ Вт/м.

Численные значения погонных сопротивлений и мощностей, рассчитанные аналитически и в системе САЕ, оказались одинаковыми, что подтверждает точность расчетов указанных параметров.

Сравнивая значения погонных сопротивлений, полученных на частотах 0 и 50 Гц, нетрудно заметить, что вихревые токи Фуко вызывают в отдельно взятой шине на частоте 50 Гц увеличение сопротивления и мощности потерь в $5,4387/4,2105=1,29$ раза (примерно на 30%).

Моделирование в системе САЕ отдельных алюминиевых шин с различным соотношением сторон прямоугольного сечения при неизменной площади, равной 62,5 см², при средней плотности тока в сечении 1000 кА/м² показало зависимость эффективности сечений от соотношения сторон

прямоугольного сечения, приведенную на рис. 4. График, показанный на рис. 4, аналогичен графикам, показанным на рис. 2, но с более выраженной зависимостью. Большую зависимость эффективности сечений, рассчитанную в системе CAE, по сравнению с приведенной на рис. 2, можно объяснить тем, что в системе CAE учитывалось влияние прямоугольной формы сечения на распределение плотности тока, а при получении зависимостей, приведенных на рис. 2, особенности распределения тока в прямоугольном сечении не учитывались.

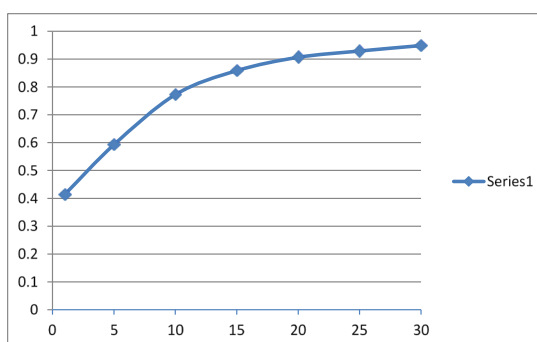


Рис. 4. График зависимости эффективности сечений от соотношения сторон прямоугольного сечения шины, полученный по результатам моделирования в системе CAE

Плотности мощностей потерь для квадратного и прямоугольного сечений с соотношением сторон, равным 10, показаны на рис. 5.

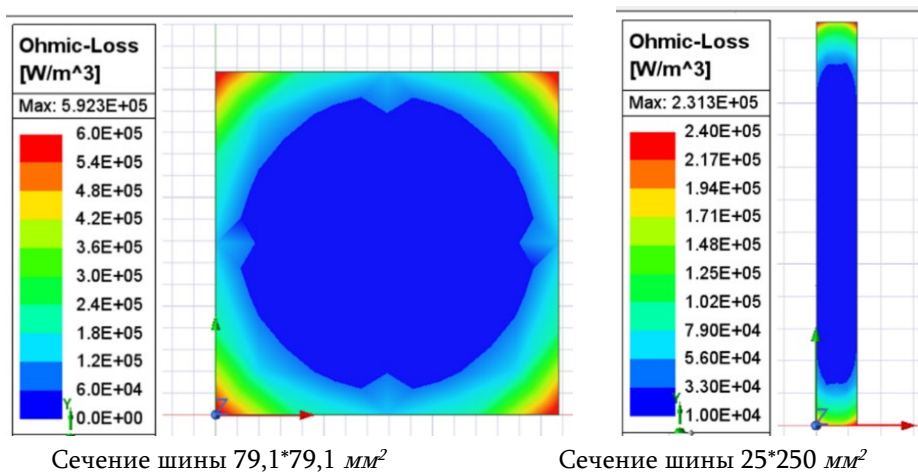


Рис. 5. Плотности потерь в квадратном и прямоугольном сечениях шины

Оценка влияния эффекта близости на потери энергии. Если для передачи электроэнергии использовать **две шины**, расположенные на бесконечном расстоянии друг от друга, то общие потери энергии увеличатся в два раза, а погонные параметры каждой шины останутся неизменными. Если же шины расположить вблизи, то станет проявляться эффект близости. Оценим величину изменения параметров шин из-за эффекта близости на частоте 50 Гц. Для этого проведем моделирование в системе САЕ при расстояниях между шинами 1, 5, 10 мм при сонаправленных и противоположно направленных токах в шинах.

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Плотности токов при расстоянии между шинами 5 мм приведены на рис. 6.

Таблица 1

Параметры шин двухшинной конструкции

Расстояние между шинами, мм	Направления токов	Обозначение шин	R, мкОм/м	L, нГн/м	P _{L1} +P _{L2} , Вт/м
1	Сонаправленные	L1	8,5455	187,72	765,27
		L2	8,5435	187,72	
	Противоположные	L1	8,5637	187,69	559,14
		L2	8,5638	187,69	
5	Сонаправленные	L1	8,4611	197,59	766,66
		L2	8,461	197,59	
	Противоположные	L1	8,4655	197,58	543,79
		L2	8,4654	197,58	
10	Сонаправленные	L1	8,6388	208,68	793,07
		L2	8,6988	208,73	
	Противоположные	L1	8,4633	208,74	536,96
		L2	8,5225	208,75	
30	Сонаправленные	L1	8,42,88	242,26	792,35
		L2	8,4455	242,25	
	Противоположные	L1	8,5284	242,15	518,29
		L2	8,5516	242,13	

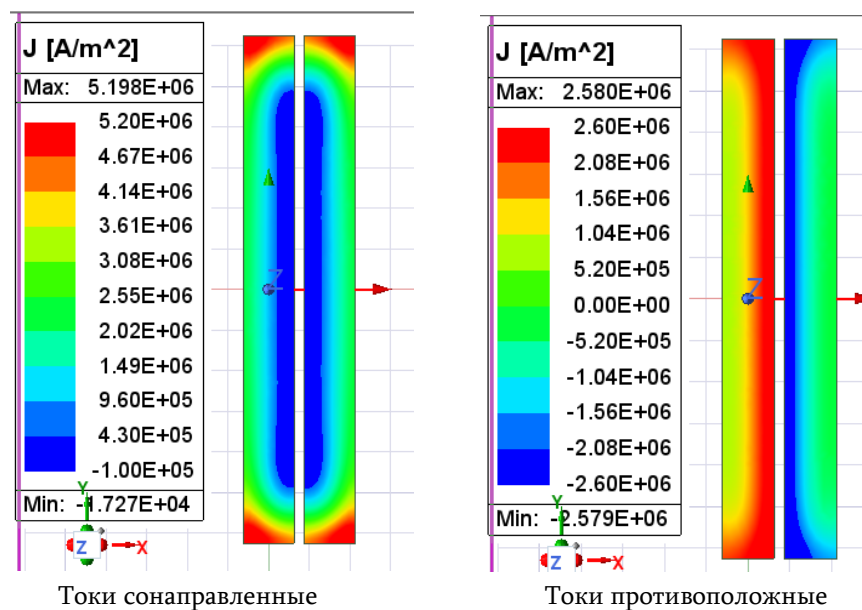


Рис. 6. Плотности тока в сечении шины при расстоянии между шинами 5 мм

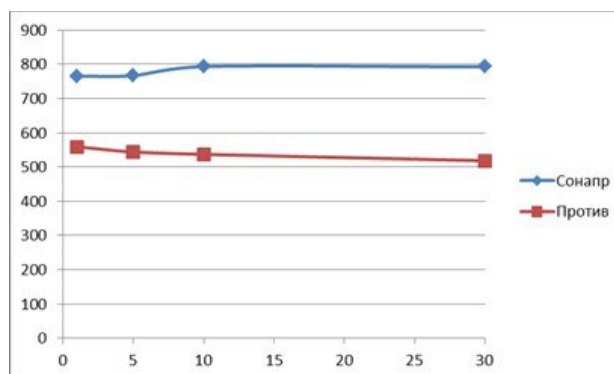


Рис. 7. Зависимость потерь энергии от расстояния между шинами для двухшинной конструкции

В шинах при протекании сонаправленных токов больше проявляется совместный поверхностный эффект, который с ростом расстояния между шинами в пределах от 1 до 30 мм (рис. 7) увеличивает потери мощности на 3,6%, а при противоположно направленных токах снижает потери на 8%. С физической точки зрения, снижение потерь при противоположно направленных токах вызывает уменьшение напряженности совместного

магнитного поля от обеих шин и, соответственно, снижение действия поверхностного эффекта.

Шинопровод **из трех шин** L1 (начальный угол 0 градусов), L2 (начальный угол 120 градусов), L3 (начальный угол 240 градусов). Расстояние между шинами - 10 мм. Поля удельных потерь в сечениях шин при различной последовательности их расположения показаны на рис. 8.

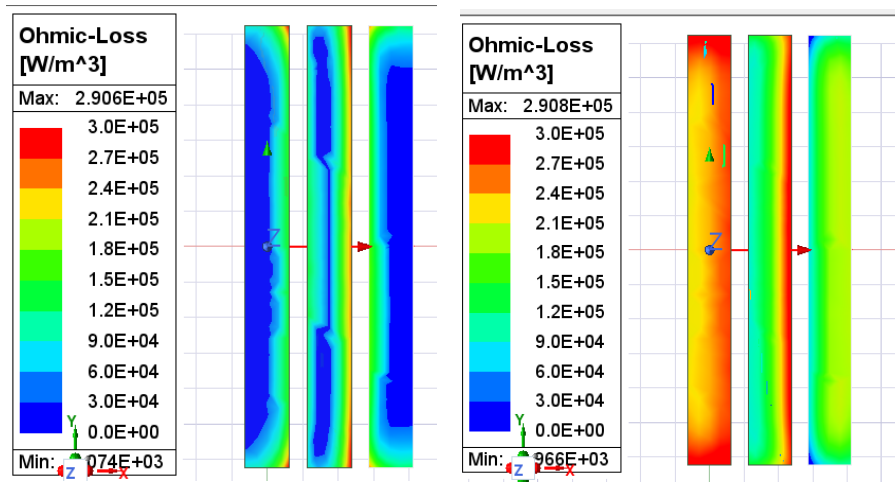


Рис. 8. Мощности потерь в трехшинных конструкциях при различном расположении шин

Численные значения шкал, приведенных на рисунке, полностью совпадают. Значит, потери энергии при различном расположении шин тоже совпадают. Различие окраски шин вызвано смещением фазовых углов, при которых наблюдаются максимальные потери. Величины удельных сопротивлений, индуктивностей шин и мощностей потерь при различном чередовании фаз приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины удельных сопротивлений, индуктивностей шин и мощностей потерь при различном чередовании фаз

	Нач. угол, град	R, мкОм/м	L, нГн/м	P, Вт/м
1	2	3	4	5
L1	0	10.44	251.23	992.66
L2	120	11.124	248.47	
L3	240	10.467	251.24	

Продолжение табл. 2

Меняем местами L2 и L3 и получаем тот же результат

	1	2	3	4
L1	0	10.44	251.23	992.66
L2	240	11.124	248.47	
L3	120	10.467	251.24	

По результатам, приведенным в табл. 2, можно однозначно сказать, что чередование шин в пакете не сказывается на потерях мощности.

Моделируем **четырёхшинную конструкцию**, в которой 3 шины токовые с исходными начальными углами сдвига ($L1-0^\circ$, $L2-120^\circ$, $L3-240^\circ$), а последняя шина нейтральная (L1, L2, L3, N). Полученные параметры сведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры четырехшинной конструкции при расположении нейтральной шины последней (L1, L2, L3, N)

	R, мкОм/м	L, нГн/м	P, Вт/м
L1	15.561	181,85	888,91
L2	13.533	132,56	
L3	7,0961	62,719	

При изменении расположения шин в последовательности L1, L2, N, L3 получаем параметры, сведенные в табл. 4.

Таблица 4

Параметры четырехшинной конструкции при расположении нейтральной шины между второй и третьей токовыми шинами (L1, L2, N, L3)

	R, мкОм/м	L, нГн/м	P, Вт/м
L1	13.027	135,39	914,29
L2	6,949	63,063	
L3	7,0802	64,13	
N	4.7134	9.4354	

Сравнивая значения удельных мощностей потерь, приведенные в табл. 3 и 4, приходим к выводу, что расположение нейтральной шины внутри пакета приводит к увеличению потерь на $(914,29-888,91)/888,91=2,9\%$.

Заключение. Таким образом, наиболее влияющим на потери энергии в шинопроводе фактором является соотношение сторон прямоугольного сечения шины. Изменяя соотношение сторон прямоугольного сечения, можно снизить потери энергии на десятки процентов. Для снижения потерь энергии в шинопроводе с алюминиевыми шинами прямоугольного сечения, проводящими переменный ток частотой 50 Гц, целесообразно брать соотношение размеров сторон сечения шины с учетом обеспечения эффективности сечения и конструкторских требований близким к 10. Чередование порядка следования токовых шин в шинопроводе, а также величина воздушного диэлектрика между шинами практически не влияют на потери энергии, поэтому токовые шины можно располагать в различном порядке с различным расстоянием между шинами. Нейтральную шину целесообразно располагать крайней. При этом потери энергии снизятся на единицы процентов.

Литература

1. **Воронин С.В., Матанцев А.Н., Мокринский С.П.** Российские шинопроводы: вчера, сегодня, завтра.– М.: Издательский дом «Энергия», 2018. – 200 с.
2. **Долгов Г.Ф.** Расчет температуры перегрева проводников печатной платы медицинской аппаратуры в системе SolidWorks // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии (ФРЭМЭ 2016): Доклады XII Международной научной конференции с научной молодежной сессией: Книга II.- Владимир-Суздаль, 2016. - С. 147-150.
3. **Осипов О.В., Табаков Д.П., Морозов С.В.** Электродинамика и распространение радиоволн: Учебник для вузов ФГБОУ ВО ПГУТИ. – Самара: ИНУЛ ПГУТИ, 2021. – 290 с.
4. **Панфёров А.А.** Аналитическое и численное решение уравнений в частных производных: Учебно-методическое пособие для студентов высших технических учебных заведений.- Тольятти, ТГУ, 2014. - 50 с.
5. CAE expert. Программные продукты ANSYS. URL: <https://cae-expert.ru/product?ysclid=mnal1slwb9496971535> (дата обращения: 28.03.2026).
6. Скин-эффект в проводнике URL: https://vpayaem.ru/inf_skin_effect.html (дата обращения: 28.03.2026).
7. **Клюшников О.И., Степанов А.В.** Теоретические основы электротехники: Учеб. пособие. Ч. 1: Линейные электрические цепи постоянного тока.- Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2006. - 73 с.

8. **Долгов Г.Ф.** Оценка эффективности сечений шинопроводов // Энергетика будущего – цифровая трансформация: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, 26 – 27 декабря 2023 г.- Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2025.- С. 95-99.- URL: <https://rucont.ru/efd/945356> (дата обращения: 12.03.2026).
9. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание седьмое. - URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения 31.03.2026).

Поступила в редакцию 23.03.2026.

Принята к опубликованию 15.07.2026.

**ԱՆՅՈՒՄԻՆԵ ՀԱՂՈՐԴԱԼԱՐԻ ՈՒՂԱՆԿՅՈՒՆ ՀԱՏՎԱԾՔԻ ԿՈՂՄԵՐԻ
ՀԱՐԱՔԵՐԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ՕՊԵՐԱԿԱՆԱԿՈՒՄԸ ԱՐԴՅՈՒՆԱՔԵՐԱԿԱՆ
ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ՀՈՍԱՆՔԻ ՀԱՂՈՐԴԱԶՈՂԱԼԱՐՈՒՄ**

Ն.Պ. Բադալյան, Գ.Ֆ. Դոլգով

Ուսումնասիրվում է օժմական կորուստների նվազեցումը էլեկտրական հզորության փոխանցման ժամանակ 50 ՀՎ արդյունաբերական հաճախականությամբ հոսանքներ կրող ուղղանկյուն ալյումինե հաղորդաձողում և հաղորդաձողային համակարգերում: Հիմնավորված է վերջավոր տարրերի վերլուծության (CAE) համակարգի ընտրությունը, որի միջոցով կատարվում է ուսումնասիրությունը: Գնահատվում է հաղորդաձողային նախագծման կոնստրուկտիվ պարամետրերի ազդեցությունը էներգիայի կորստի վրա:

Այս պարամետրերը ներառում են հաղորդաձողի լայնական հատույթի կողմերի հարաբերակցությունը և հաղորդաձողերի միջև հեռավորությունը: Վերջնարդյունքում՝ հաղորդաձողերի համակարգերի նախագծման համար նախագծողներին ներկայացվում են առաջարկություններ՝ էներգիայի կորուստները նվազեցնելու համար: Էլեկտրահաղորդման գծերում կորուստների նվազեցումը միշտ եղել և մնում է արդիական խնդիր: Հաղորդաձողերի համակարգերն ավելի ու ավելի հաճախ են օգտագործվում որպես էլեկտրահաղորդման գծեր: Տարբեր դիզայններով հաղորդաձողերի համակարգերն էլեկտրամատակարարման օբյեկտներում օգտագործվում են 1950-ական թվականներից ի վեր:

Ապացուցվել են դրանց հուսալիությունը, տեղադրման, շահագործման և վերանորոգման, ինչպես նաև սպասարկման հեշտությունը: Հետևաբար, հաղորդաձողային համակարգերն այժմ ներդրում են բազմաթիվ էներգամատակարարման նախագծերում, մասնավորապես՝ մայրուղային և բաշխիչ ցանցերի հետ կապված նախագծերում:

Մայրուղային հաղորդաձողերն օգտագործվում են փոփոխական հոսանքի դեպքում՝ տրանսֆորմատորը գլխավոր բաշխիչ վահանակին կամ մուտքային բաշխիչ սարքին, կամ տրանսֆորմատոր-մայրուղային հաղորդաձողերի բլոկում միացնելու համար: Հաստատուն հոսանքի դեպքում դրանք օգտագործվում են մինչև 1200 Վ լարումով արդյունաբերական հաստատուն հոսանքի կայանքներում՝ էլեկտրական ցանցեր կառուցելու համար:

Բաշխիչ հաղորդաձողերն օգտագործվում են տարբեր սպառողների համար մեծ թվով միացումներով գծեր ստեղծելու, ինչպես նաև լուսավորության համակարգերում էլեկտրաէներգիա մատակարարելու դեպքում:

Տրոլեային հաղորդաձողերն օգտագործվում են նաև շարժակազմի արհեստանոցային էլեկտրական ընդունիչներին, օրինակ՝ կոունկներին (կամրջային կոունկներ, վերգետնյա կոունկներ), շարժական ամբարձիչներին, վերելակներին և այլնին, էլեկտրաէներգիա մատակարարելու համար:

Առանցքային բառեր. հաղորդաձող, մակերևութային հոսանքներ, հզորության կորուստներ, օմական կորուստներ, երկրաչափական պարամետրեր, վերլուծական մոդելավորում, թվային մոդելավորում, CAE համակարգեր:

OPTIMIZING THE ASPECT RATIO OF RECTANGULAR ALUMINUM BUSBAR CROSS-SECTION IN INDUSTRIAL FREQUENCY BUSBAR LINES

N.P. Badalyan, G.F. Dolgov

This article examines the reduction of ohmic losses in power transmission systems with rectangular aluminum busbars carrying 50 Hz industrial frequency currents. The choice of a finite element analysis (FEA) system for the study is justified. The influence of busbar and busbar design parameters on energy loss is assessed. These parameters include the aspect ratio of the busbar cross-section and the distance between the busbars. Finally, recommendations are provided for busbar system designers on reducing energy losses. Reducing losses in power transmission lines has always been and remains a pressing issue. Busbar ducts are increasingly being used as power transmission lines. Busbar ducts of various designs have been used at power supply facilities since the 1950s. They have proven their reliability, ease of installation, operation, and repair, as well as ease of maintenance. Therefore, busbars are currently being implemented in many power supply projects, particularly those involving trunk and distribution networks.

Trunk busbars are used with alternating current to connect a transformer to the main switchboard, or to the input switchgear, or in a transformer-trunk unit. With direct current, they are used to construct electrical networks in industrial DC installations with voltages up to 1200 V.

Distribution busbars are used to construct trunk lines with a large number of connections for various consumers, as well as to supply power to lighting busbars.

Trolley busbars are used to supply power to workshop loads of rolling stock, such as cranes (overhead, overhead), hoists, lifts, etc.

Keywords: busbar, surface currents, power losses, ohmic losses, geometric parameters, analytical modeling, numerical modeling, CAE systems.