

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в трансформаторостроении.

Одним из путей снижения потерь и тока холостого хода трансформаторов является применение новых конструкций магнитных систем с разнесенными более чем в две традиционные плоскости линиями стыков пластин ярма и стержней.

Разнесение линий стыков в 3 - 6 плоскостей снижает магнитный поток, проходящий через зазоры в стыках, что в свою очередь, существенно снижает ток холостого хода, а также снижает потери энергии от действия вихревых токов в зоне стыков и от основного магнитного потока за пределы ярма, а также позволяет трансформатору переносить перевозбуждение.

Имеется несколько направлений совершенствования конструкций с целью разнесения линий стыков более чем в две плоскости.

Фирма "Вестингауз" (США) получила немало патентов на разные типы конструкций со ступенчатым перекрытием стыков, наиболее известным из которых является патент США [1]. Для бронестержневых магнитных систем подобное направление непригодно, поскольку ширина ярмовых пластин у бронестержневых пластин мала и не позволяет применить V-образные вырезы с глубиной, близкой к половине ширины стержневой пластины, которые используются в системах со стэг-лэп структурой.

В статье [2] была частично раскрыта конструкция, у которой пластина состояла из двух отдельных пластин, разделенных широким каналом, а в ярмовой пластине бы ни выполнены две вырезы. Однако из-за перерасхода материалов при малой эффективности широких каналов такие конструкции не применяются.

Второе направление описано в патенте Франции [3], в котором в каждом третьем слое три стержневые пластины заменяют другими. Однако, как зафиксировано в формуле изобретения, конструкция осуществима при жестком соотношении ширины пластин ярма и стержня равном 1 : 2, то есть конструкция рассчитана для использования в однофазных трансформаторах с магнитно-связанными рамами, у трехфазных трансформаторов другие оптимальные отношения ширины пластин ярма к ширине пластин стержня.

Третье направление избрано фирмой "Запорожтрансформатор" и Украинским институтом трансформаторостроения - это шихтовка в четыре положения одних и тех же пластин. Пакеты системы собирают из одинаковых групп слоев, в каждой группе - четыре слоя, в слое - набор пластин один и тот же но расположены пластины по-разному, что необходимо для разнесения линий стыков в четыре плоскости. Даже для однофазных трансформаторов преимущество заключается в том, что при каждом следующем слое не требуется выяснять какие из пластин предыдущего слоя не надо укладывать в следующий слой и какими пластинами их следует заменить, а это позволяет повысить бездефектность сборки.

Наиболее близким к заявляемому является [4].

Бронестержневая магнитная система трехфазного трансформатора, состоящая из трех стержней, торцевых и боковых ярм, пакеты системы сложены из слоев стальных пластин, все слои пакета собраны из одинаковых наборов пластин все пластины трапециевидные, а стержневые пластины независимо от того, изготовлены они сплошными или из двух частей разной ширины, состыкованных по линии параллельной оси стержня, имеют одинаковые размеры для крайних и среднего стержней пакета и форму прямоугольника, у которого оба противоположных конца двусторонне скошены под углом 45°, пластина среднего стержня в любом слое установлена со сдвигом вдоль вертикали относительно пластин крайних стержней.

Недостатком этой конструкции является то, что она не может быть собрана в более чем два положения пластин, то есть с разнесением линий стыков более, чем в две плоскости, что не позволяет уменьшить магнитный поток, проходящий через зазоры в стыках, а следовательно, уменьшить потери энергии. Кроме того, в конструкции использовано восемь типоразмеров пластин на пакет, тогда как теоретический минимум - это четыре типоразмера, приближение к минимуму снижает трудоемкость и даже затраты материала. Для изготовления такой конструкции требуется обрезка двух концов пластин торцевого ярма и широких частей пластин стержня, тогда как стандартные линии раскроя обрезают только один конец трапециевидных пластин.

Задача, на решение которой направлено настоящее изобретение, заключается в создании конструкции бронестержневой магнитной системы трехфазного трансформатора, которая обеспечивает снижение потерь и тока холостого хода за счет разнесения линий стыков пластин в четыре плоскости. При этом улучшаются также условия работы трансформатора в режиме перевозбуждения. Дополнительно требуется снизить число используемых типоразмеров пластин, приближая его к теоретическому минимуму, а также улучшить возможность варьирования длины перекрытий пластин в стыках и, соответственно, размеров вырезов в углах окон системы.

Эта задача решается при использовании бронестержневой магнитной системы трехфазного трансформатора, состоящей из трех стержней, торцевых и боковых ярм, пакеты системы сложены из слоев стальных пластин, все слои пакета собраны из одинаковых наборов пластин, все пластины ярм трапециевидные, а стержневые пластины пакета, независимо от того, изготовлены они сплошными или из двух частей разной ширины, состыкованных по линии, параллельной оси стержня, имеют одинаковые размеры для крайних и среднего стержней и форму прямоугольника, у которого оба противоположных конца двусторонне скошены под углом 45°, пластина среднего стержня в любом слое установлена со сдвигом по вертикали относительно пластин крайних стержней, смещения от оси стержня вершин скосов на противоположных концах стержневой пластины имеют одинаковую величину, противоположны по направлению и не равны половине того расстояния, на которое пластина среднего стержня сдвинута по вертикали относительно пластин крайних стержней, пакеты магнитной системы состоят из одинаковых групп слоев по четыре слоя в группе, в первом слое группы вершины скосов верхних концов пластин крайних стержней расположены на линии внешних боковых кромок пластин верхнего торцевого ярма, пластина среднего стержня сдвинута к нижнему ярму, так, что вершина скосов нижнего конца этой пластины расположена на линии внешних боковых кромок пластин нижнего торцевого ярма, пластины торцевых ярм, один конец которых обрезан на величину сдвига вдоль вертикали пластины среднего стержня относительно пластин крайних стержней, прилегают своими необрезанными концами в верхнем ярме к вершинам скосов пластин крайних стержней, а в нижнем ярме - к вершине скосов пластины среднего стержня, горизонтальные пластины боковых ярм в верхнем и нижнем ярмах направлены необрезанными концами в стороны, противоположные тем сторонам, в которые необрезанными концами направлены прилежащие к боковым ярмам пластины торцевых ярм, во втором слое группы все пластины расположены, как в зеркальном отображении первого слоя в плоскости, которая проходит через внешнюю боковую кромку вертикальной пластины бокового ярма перпендикулярно плоскости слоя, в третьем и четвертом слоях группы пластины крайних стержней смещены в стороны нижнего ярма, пластины среднего стержня и вертикальные пластины боковых ярм смещены в сторону верхнего ярма, а пластины торцевых ярм и горизонтальные пластины боковых ярм развернуты на 180° по сравнению с положением указанных стержневых и ярмовых пластин в первом и

втором слоях соответственно.

Отличие от прототипа заключается в том, что смещения от оси стержня вершин скосов на противоположных концах стержневой пластины имеют одинаковую величину, противоположны по направлению и не равны половине того, расстояния, на которое пластина среднего стержня сдвинута вдоль вертикали относительно пластин крайних стержней, пакеты магнитной системы состоят из одинаковых групп слоев по четыре слоя в группе, в первом слое группы вершины скосов верхних концов пластин крайних стержней расположены на линии внешних боковых кромок пластин верхнего торцевого ярма, пластина среднего стержня сдвинута к нижнему ярму так, что вершина скосов нижнего конца этой пластины расположена на линии внешних боковых кромок пластин нижнего торцевого ярма, пластины торцевых ярем, один конец которых обрезан на величину сдвига вдоль вертикали пластины среднего стержня относительно пластин крайних стержней, прилегают своими необрезанными концами в верхнем ярме к вершинам скосов пластин крайних стержней, а в нижнем ярме - к вершинам скосов пластины среднего стержня, горизонтальные пластины боковых ярем в верхнем и нижнем ярмах направлены необрезанными концами в стороны, противоположные тем сторонам, в которые необрезанными концами направлены прилежащие к боковым ярмам пластины торцевых ярем, во втором слое группы все пластины расположены, как в зеркальном отображении первого слоя в плоскости, которая проходит через внешнюю боковую кромку вертикальной пластины бокового ярма перпендикулярно плоскости слоя, в третьем и четвертом слоях групп пластин крайних стержней смещены в сторону нижнего ярма, пластины среднего стержня и вертикальные пластины боковых ярем смещены в сторону верхнего ярма, а пластины торцевых ярем и горизонтальные пластины боковых ярем развернуты на 180° по сравнению с положением указанных стержневых и ярмовых пластин в первом и втором слоях соответственно.

Перечисленной совокупности признаков достаточно для того, чтобы выполнить чертежи заявляемой магнитной системы по обычным для проектирования исходным данным и в соответствии с испрашиваемым объемом правовой защиты, то есть строением соединений стержней с ярмами (Т-образных соединений). Устройство Г-образных соединений (горизонтальных и вертикальных пластин бокового ярма) может быть разным.

Между совокупностью отличительных признаков и достигаемым техническим результатом имеется причинно-следственная связь.

Основным признаком является признак "пакеты магнитной системы состоят из одинаковых групп слоев по четыре слоя в группе". Подразумевается, что слои групп неодинаковые по структуре, иначе не было бы смысла говорить о четырех слоях. Все остальные признаки обеспечивают конкретно реализацию такого строения четырех слоев, при котором во всех стыковых соединениях пластин ярем и стержней линии стыков при наложении четырех слоев группы будут находиться в разных плоскостях, а это дает возможность снизить ток и потери холостого хода по сравнению с прототипом, у которого группы имеют всего два слоя.

Кроме того, новая конструкция снижает число типоразмеров пластин, используемых в каждом пакете магнитной системы. У данной конструкции это число может быть доведено до теоретического минимума. Это облегчает сборку и улучшает качество сборки, поскольку сборка магнитных систем больших мощностей производится вручную, а системы содержат тысячи слоев.

Расположение пластин в слоях зависит от двух параметров: величины сдвига пластины среднего стержня вдоль вертикали относительно пластин крайних стержней и смещения вершин скосов стержневых пластин от оси стержня, а это дает достаточно широкую возможность, изменяя значения этих параметров, подобрать оптимальную структуру слоев. Оптимальная структура - это структура, которая обеспечивает, с одной стороны, нужное перекрытие зазоров в стыках пластин одного слоя пластинами соседних слоев, а с другой стороны позволяет избежать слишком больших вырезов в углах окон слоев.

На фиг.1 - 4 показано, соответственно, четыре слоя, составляющих группу; на фиг.5 - наложение слоев группы; на фиг.6 - слой системы с составными пластинами; на фиг.7 - слой системы, у которой ширина пластин торцевого ярма больше, чем ширина горизонтальных пластин бокового ярма.

В слое, который условно принят за первый (фиг.1), вершины двусторонних скосов верхних концов стержневых пластин 1 расположены справа от осей стержней в верхнем ярме и слева - в нижнем ярме. Расстояние α от оси до вершины не равно половине расстояния Δ сдвига пластины среднего стержня вдоль вертикали относительно пластин крайних стержней. Если выполнить более крупномасштабный чертеж с расстоянием $\alpha = \Delta/2$, то будет видно, что в двух слоях из четырех слоев группы линии стыков пластин стержней с пластинами ярем совпадут и разнесения стыков в четыре плоскости достигнуто не будет. Вершины двусторонних скосов пластин 1 крайних стержней в верхнем ярме расположены на линии внешних боковых кромок пластин 2 торцевого ярма. Пластина 1 среднего стержня, смещена вдоль вертикали на расстояние Δ относительно пластин 1 крайних стержней. Вершина скосов на нижнем конце пластины среднего стержня размещена на линии внешних боковых кромок торцевых пластин 2 нижнего ярма. Пластины 1 крайних стержней соединены горизонтальными пластинами 3 и 4 бокового ярма с вертикальными пластинами 5 боковых ярем. Ярмовые пластины 2 прилегают необрезанными концами в верхнем ярме к вершинам скосов пластин крайних стержней, а в нижнем ярме - к вершинам скосов пластины среднего стержня, а горизонтальные пластины 3 и 4 в верхнем и нижнем ярмах направлены необрезанными концами в стороны, противоположные тем, в которые направлены необрезанными концами прилежащие к боковым ярмам пластины торцевых ярем. Действительно, левая пластина 2 верхнего торцевого ярма направлена необрезанным концом влево, а пластина 3 - вправо, правая пластина 2 направлена необрезанным концом вправо, а пластина 4 - влево.

Этого описания достаточно для определения строения одного слоя, но в формуле изобретения описано, как из структуры одного слоя получить структуры остальных слоев группы.

Второй слой группы (фиг.2) сложен из того же набора пластин, что и первый (фиг.1). Его структура отвечает зеркальному отображению первого слоя, если отражающую плоскость провести перпендикулярно чертежу первого слоя, через кромку пластины 5. Пластина 3, например, в верхнем ярме была на фиг.1 расположена на левом конце ярма, а на фиг.2 она находится справа, как она расположена в зеркале.

На примере верхнего правого Г-образного соединения и прилежащего к нему Т-образного соединения рассмотрим расположение линий стыков пластин во втором слое по отношению к их расположению в первом слое.

В правом верхнем углу первого слоя (фиг.1) линия стыков пластин 4 и 5 проходит выше биссектрисы угла прямоугольного окна системы, а во втором слое (фиг.2) линия стыков пластин 3 и 5 в том же углу слоя проходит несколько ниже биссектрисы угла окна, т.к. линия стыка пластины 4 с пластиной 1 на фиг.2 проходит по биссектрисе угла окна, а на фиг.1 она проходит выше биссектрисы. Линия стыка пластин 1 и 2 во втором слое проходит выше, чем в первом. Таким образом, зазоры в стыках перекрыты, линии стыков в первом и втором слоях не совпадают.

Третий слой группы показан на фиг.3. В соответствии с формулой изобретения структура третьего слоя

получена путем перестройки структуры первого слоя. Пластины 1 крайних стержней на фиг.1 надо сдвинуть вниз на Δ , а пластину 1 среднего стержня на такую же величину сдвинуть вверх, так же как и пластины 5 боковых ярм. Горизонтально расположенные пластины 2, 3, 4 надо развернуть на 180° . После такого преобразования получим структуру третьего слоя (фиг.3). Указанные преобразования в укладке пластин обеспечили в трех слоях разнесение линий стыков в плоскости. В правом верхнем углу линия стыка пластин 4 и 5 проходит выше, чем в первом (фиг.1) и втором (фиг.2) слоях, линия стыка пластины 1 правого крайнего стержня с пластиной 4 проходит между линиями стыка в первом и втором слоях, а линия стыка пластины 1 с пластиной 2 проходит ниже, чем в первых двух слоях.

Структура четвертого слоя группы (фиг.4) получена путем преобразования, структуры второго слоя (фиг.2) по тем же правилам, по каким структура третьего слоя получена из структуры первого слоя.

Линии стыков в четвертом слое не совпадают с линиями стыков пластин в первом, втором и третьем слоях, т.е. линии стыков разнесены в четыре плоскости. Например в верхнем правом углу слоя линия стыка пластин 3 и 5 (фиг.4) проходит ближе к биссектрисе угла окна, чем на фиг.1 - 3. Линия стыка пластины 1 с пластиной 3 проходит ниже биссектрисы угла окна, тогда как в первых трех слоях соответствующие линии стыков проходят по биссектрисе или выше биссектрисы, а линия стыка пластины 1 и 2 проходит между линиями стыков в первом и втором слоях, не совпадая с линией стыка в третьем слое.

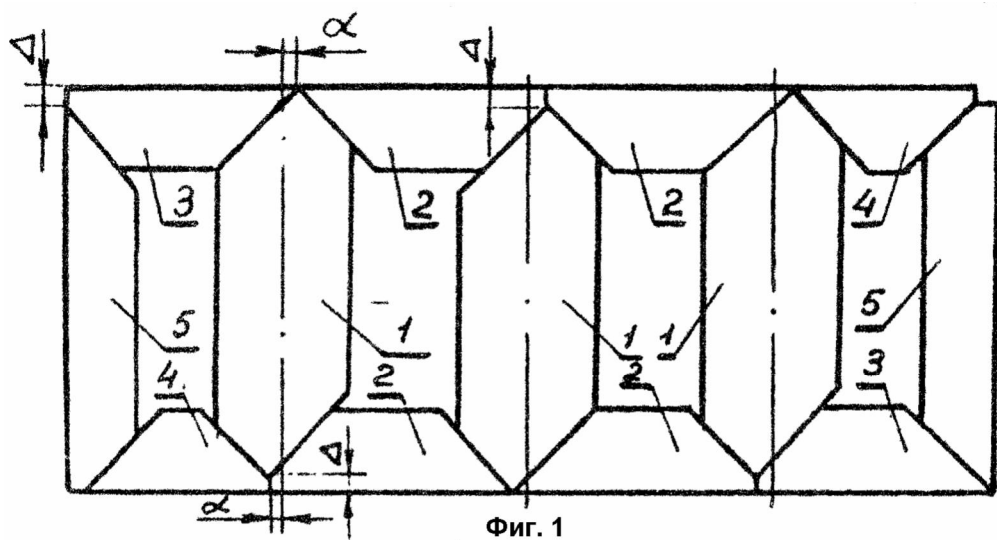
На фиг.5 показан результат наложения друг на друга контуров четырех слоев пакета. При построении принято, что $\alpha = 0,667$ (не равно 0,5), линии стыков во всех соединениях разнесены в четыре плоскости.

Строение Т-образных соединений такое же, как и на фиг.1 - 4, строение Г-образных соединений отличается от показанного на фиг.1 - 4, но строение Г-образных соединений не оговорено однозначно формулой изобретения. В том случае, если диаметр стержней магнитной системы настолько велик, что стержневые пластины центральных пакетов имеют ширину большую, чем максимальная ширина рулонов электротехнической стали, применяют составные пластины, как показано на фиг.6.

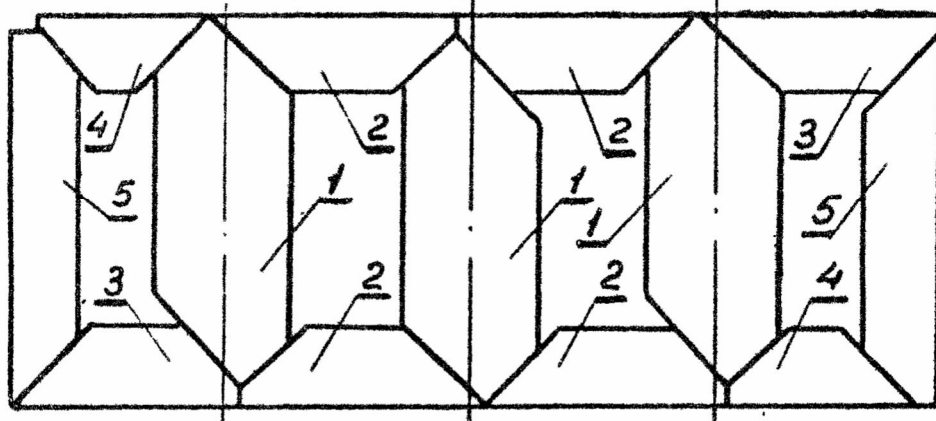
На фиг.7 показана магнитная система, у которой с целью экономии стали пластины бокового ярма выполнены более узкими, чем пластины торцевых ярм.

При работе трансформатора магнитный поток проходит по всем пластинам пакетов.

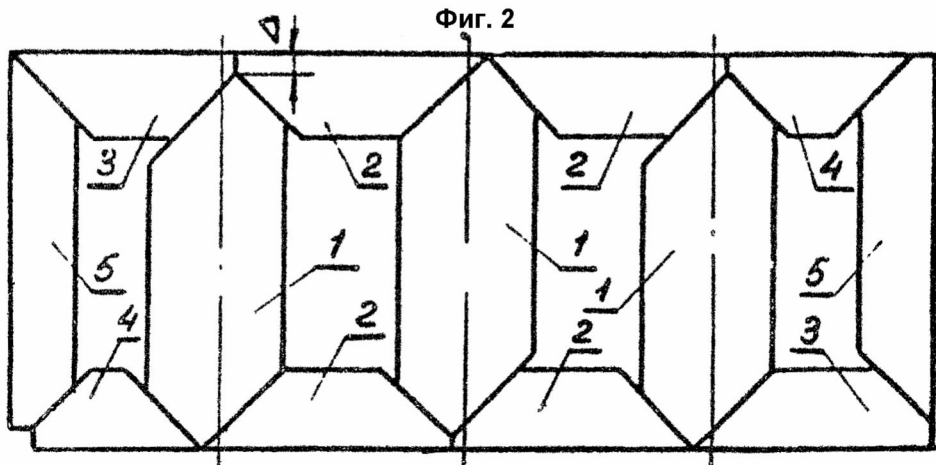
При разнесении линий стыков в две плоскости, как у прототипа, когда в одном слое имеет место стык пластин, т.е. имеет место какой-то зазор между пластинами, в пластину перекрывающего зазор второго слоя переходит магнитный поток из первого слоя, а при разнесении линий стыков в четыре плоскости поток из первого слоя распределяется по трем слоям. Это снижает плотность потока в перекрывающих зазор пластинах, снижает ток и потери холостого хода, нужный для намагничивания стали, потому что перекрывающие пластины принимают весь поток из первого слоя и на преодоление частью потока сопротивления воздушного зазора в стыке и на выход части основного потока за пределы ярма не расходуется ни реактивная, ни активная мощность.



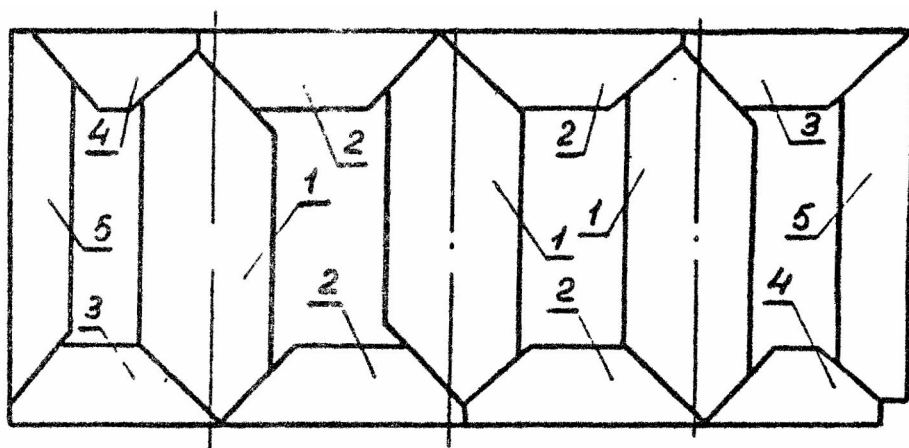
Фиг. 1



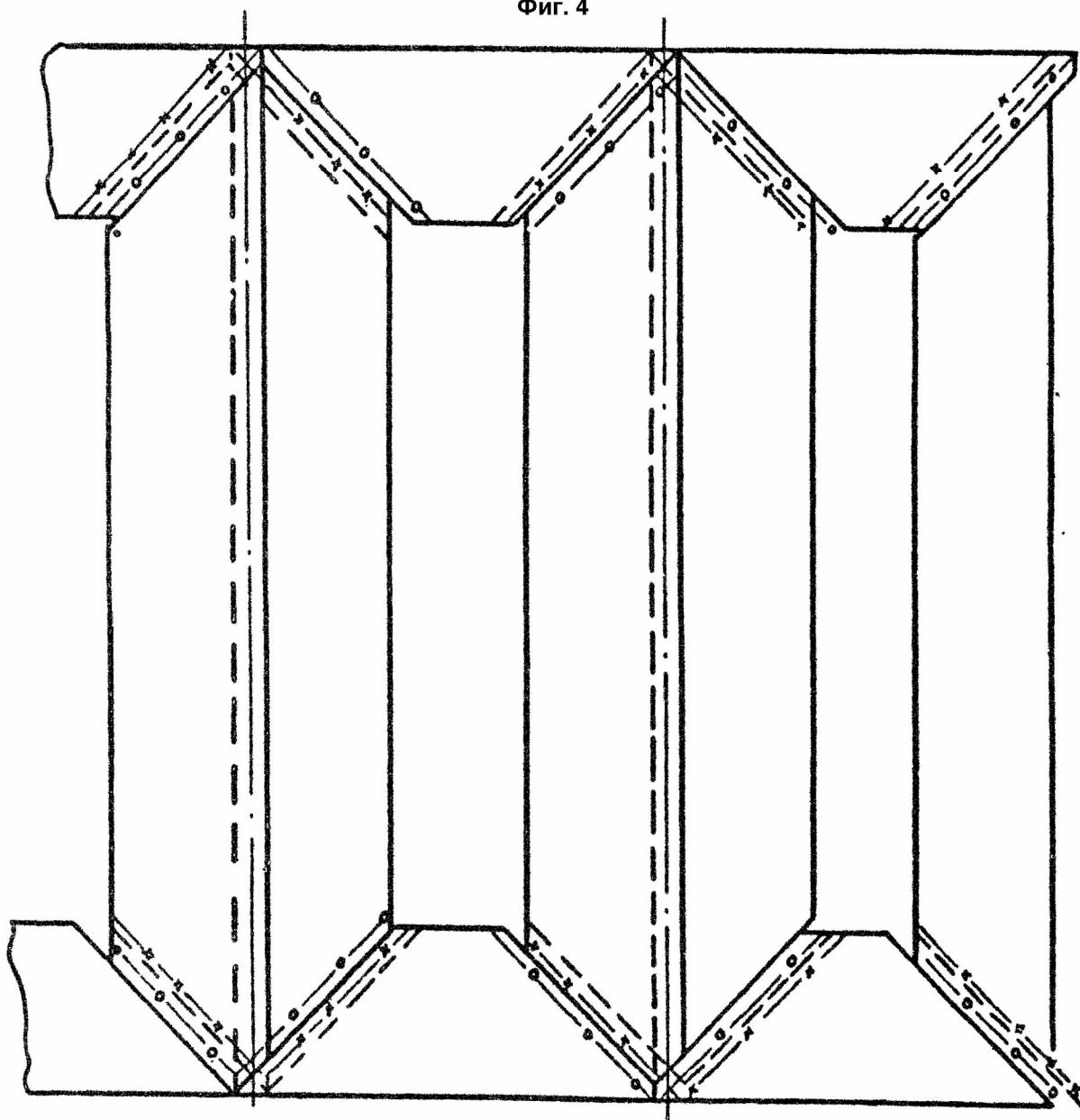
Фиг. 2



Фиг. 3

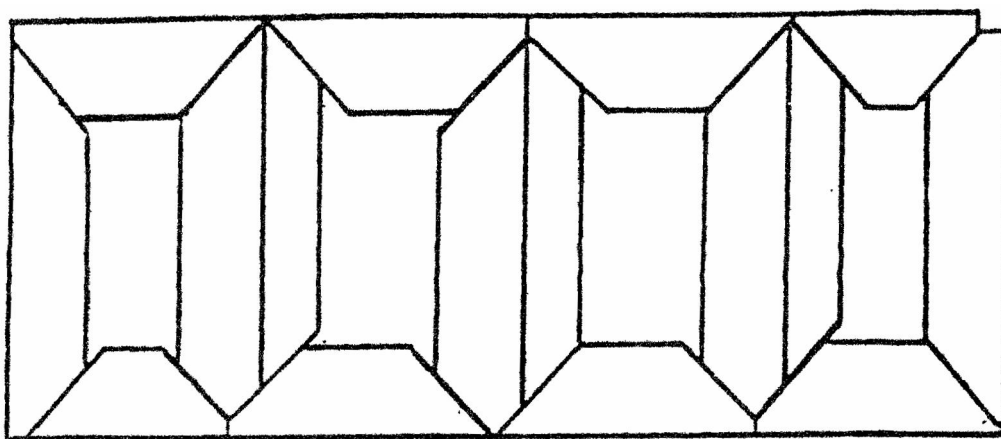


Фиг. 4

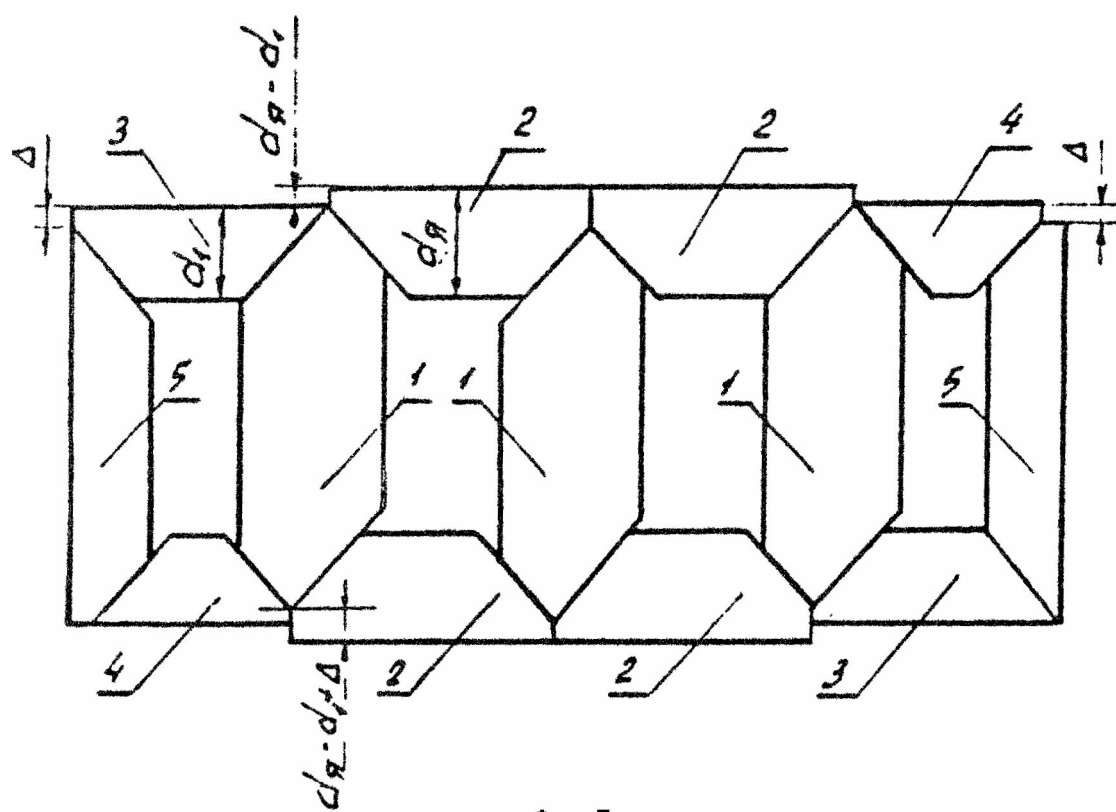


- Контур первого слоя
- Контур второго слоя
- Контур третьего слоя
- x—x— Контур четвертого слоя

Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7