

Полезная модель относится к области электромашиностроения, в частности, к тяговым электрическим машинам переменного тока, используемым на транспортных средствах.

Известен статор электрической машины [Зимин В.И., Каплан М.Я., Палей А.М. и др. Обмотки электрических машин. - Л.: Госэнергоиздат, 1961, с.275-276], который имеет сердечник с расположенной в пазах жесткой двухслойной обмоткой, выполненной из одновитковых катушек. Лобовые части одновитковых катушек изогнуты и сопряжены с прямолинейными пазовыми частями. Переход от одного плеча лобовой части к другому имеет определенный радиус в плоскости, проходящей через продольную ось статора электрической машины и биссектрису центрального угла между пазовыми частями одновитковой катушки. Поэтому в пазах сердечника статора располагается только одна жесткая двухслойная обмотка.

Недостатком такой конструкции являются значительные габариты лобовой части катушки, как в аксиальном так и в радиальном направлениях.

Известен статор электрической машины [Авт. св. СССР № 521633, кл. Н 02 К3/04, заявл. 08.06.73, опубл. 15.07.76], содержащий сердечник с пазами, в которых размещена жесткая двухслойная обмотка, выполненная из одновитковых катушек. При этом лобовая часть каждой одновитковой катушки выполнена так, что ее средняя линия расположена по спирали на поверхности, образованной вращением овала, большая ось которого образует с продольной осью статора электрической машины острый угол, вокруг продольной оси статора. При этом поперечное сечение катушки плавно повернуто вокруг средней линии на угол  $180^\circ + \alpha$ , где  $\alpha$  - центральный угол между пазовыми частями одновитковой катушки. Такая конструкция позволяет сократить вылет лобовых частей катушек в аксиальном направлении по сравнению с предыдущей, но также, как и предыдущая, имеет только одну двухслойную обмотку в одноименных пазах сердечника статора.

Недостатком такой конструкции являются значительные габариты лобовых частей катушек двухслойной обмотки в радиальном направлении, так как проекция лобовой части на плоскость, проходящую через продольную ось статора и биссектрису центрального угла между пазовыми частями катушки, имеет форму овала, т.е. размер лобовой части обмотки в радиальном направлении равен малой оси овала.

Известен статор электрической машины [Авт. св. СССР № 1485355, кл. Н 02 К3/04, заявл. 27.04.87, опубл. 07.06.89], содержащий сердечник, в пазах которого размещена жесткая двухслойная обмотка, выполненная из одновитковых катушек, каждая из которых состоит из передней лобовой части, пазовых частей, задних лобовых частей и выводных концов. Передняя лобовая часть содержит два плеча и соединяющую их головку, которая выполнена по цилиндрической спирали. Этот статор электрической машины принят нами за прототип, так как вышеописанные признаки соответствуют и признакам заявляемого технического решения. Однако, в прототипе головка передней лобовой части одновитковой катушки выполнена по цилиндрической спирали, ось которой перпендикулярна плоскости, проходящей через продольную ось статора и биссектрису центрального угла между пазовыми частями катушки. Такая конструкция, как и предыдущая, позволяет сократить аксиальные размеры передней лобовой части обмотки статора, но не позволяет сократить радиальные размеры лобовой части, так как в радиальном направлении всегда сохраняется величина диаметра цилиндра, по которому выполнена спираль головки.

Недостаток прототипа поэтому заключается в том, что такой статор электрической машины имеет значительные радиальные габариты передней лобовой части жесткой двухслойной обмотки, что приводит к увеличению расхода металла на каждую одновитковую катушку и не позволяет разместить в одноименных пазах более одной двухслойной обмотки, а также снижает степень использования конструктивного пространства электрической машины.

В основу полезной модели поставлена задача создания статора электрической машины, в котором изменение формы головки передней лобовой части одновитковой катушки жесткой двухслойной обмотки статора обеспечивает сокращение радиальных габаритов передней лобовой части жесткой двухслойной обмотки, что снижает расход металла на катушку, позволяет разместить в одноименных пазах сердечника статора две и более жестких двухслойных обмотки и увеличивает степень использования конструктивного пространства электрической машины в условиях ограниченных габаритов, что характерно для тяговых электродвигателей транспортных средств.

Поставленная задача решается тем, что в статоре электрической машины, содержащем сердечник, в пазах которого размещены одновитковые катушки жесткой двухслойной обмотки, передние лобовые части которых имеют два плеча и выполненную по цилиндрической спирали головку, соединяющую плечи между собой, согласно полезной модели, ось цилиндрической спирали головки передней лобовой части одновитковой катушки расположена по нормали к поверхности, образованной передней лобовой частью обмотки.

Таким образом, расположение оси цилиндрической спирали головки передней лобовой части одновитковой катушки по нормали к поверхности, образованной лобовой частью обмотки, позволяет снизить радиальные габариты передней лобовой части по сравнению с прототипом на величину диаметра цилиндрической спирали, так как диаметр переносится из плоскости, проходящей через продольную ось статора и биссектрису центрального угла между пазовыми частями одновитковой катушки, в плоскость, образованную передней лобовой частью обмотки. Уменьшение радиальных габаритов снижает расход металла и позволяет разместить в одноименных пазах статора несколько двухслойных обмоток, а также увеличивает степень использования конструктивного пространства электрической машины. Кроме того снижение длины проводников в лобовой части уменьшает электрические потери и повышает тем самым КПД электрической машины.

На фиг. 1 показан продольный разрез статора электрической машины; на фиг. 2 - вид А с торца на головки передних лобовых частей двух двухслойных обмоток; на фиг. 3 - одновитковые катушки двух двухслойных обмоток, размещенных в одноименных пазах; на фиг. 4 - сечение Б-Б (по фиг. 3) пазовой части двух двухслойных обмоток статора; на фиг. 5 - размещение головок двух одновитковых катушек, лежащих в соседних пазах; на фиг. 6 - вид В на головку одновитковой катушки.

Статор электрической машины содержит сердечник 1 (фиг. 1) с пазами 2, в которых размещены одновитковые катушки 3 двух двухслойных обмоток 4. Каждая одновитковая катушка 3 (фиг. 3) состоит из задней лобовой части 5 с выводными концами 6, пазовых частей 7 и передней лобовой части 8 (фиг. 1). Передняя лобовая часть 8 имеет два плеча 9 (фиг. 3) и соединяющую их головку 10, выполненную по цилиндрической спирали, ось 11 (фиг. 1) которой расположена по нормали к поверхности 12, образованной передней лобовой частью 8.

Возможность выполнения данной конструкции подтверждается следующим расчетом.

Длина участка спирального перехода из одного слоя в другой (фиг. 6)

$$l = (2r + h_k) \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

$$\text{где} \quad \varphi = \arcsin \frac{2r - \Delta}{2r + h_k} \quad (2)$$

здесь  $\Delta$  - толщина изоляции сопрягаемых поверхностей соседних головок;

$h_k$  - высота неизолированного пакета проводников одновитковой катушки.

Высота головки в радиальном направлении:

$$H_r^p = 2h_k + 2\Delta. \quad (3)$$

Головки одновитковых катушек смогут разместиться на окружности передней лобовой части обмотки в том случае, если внешний радиус последующей головки, равной  $R + b_k$  (см. фиг. 5) не пересечется с участком спирального перехода предыдущей, длина которого (по средней линии) равна  $l$ .

В общем случае гарантией возможности размещения таких головок будет некоторое расстояние  $\Delta_1$  между внешним радиусом последующей головки и торцом участка спирального перехода предыдущей. Это условие выражает уравнение:

$$R \cdot \sin \gamma + (R + b_k + \Delta_1) \cdot \cos \gamma \leq t, \quad (4)$$

где  $R$  - внутренний радиус изгиба изолированной головки катушки;

$b_k$  - ширина изолированного пакета проводников катушки;

$\gamma$  - угол сопряжения радиуса  $R + b_k + \Delta_1$  последующей головки с торцом участка спирального перехода предыдущей головки;

$t$  - шаг по головкам.

Граничный случай возможности размещения головок и максимальное значение радиуса будет при  $\Delta_1 = 0$  (фиг. 5) и выражается уравнением

$$R \cdot \sin \gamma + (R + b_k) \cos \gamma = t. \quad (5)$$

Внутренний радиус изгиба головки определим, исходя из граничного случая, составив уравнение (фиг. 5)

$$R^2 + (R + b_k)^2 = t^2. \quad (6)$$

Преобразуем это квадратное уравнение и приведем к нулю:

$$2R^2 + 2b_k R + b_k^2 - t^2 = 0 \quad (7)$$

или

$$R^2 + b_k R + \frac{b_k^2 - t^2}{2} = 0. \quad (8)$$

Значение величины радиуса  $R$  получим, решая уравнение (8) относительно  $R$

$$\begin{aligned} R_{1,2} &= \frac{-b_k \pm \sqrt{b_k^2 - 2(b_k^2 - t^2)}}{2} \\ &= \frac{-b_k \pm \sqrt{2t^2 - b_k^2}}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для определения максимального габарита спирального перехода в направлении оси обмотки статора определим длину хорды участка спирального перехода на внутреннем радиусе дуги  $R$

$$a = 2R \cdot \sin \gamma. \quad (10)$$

Построим эту хорду на прямой, проходящей через точки пересечения осевых плеч лобовых частей. Для определения координаты центра радиуса  $R$  вычислим стрелку дуги радиуса  $R$ , стягиваемой хордой  $a$

$$h_2 = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} . \quad (11)$$

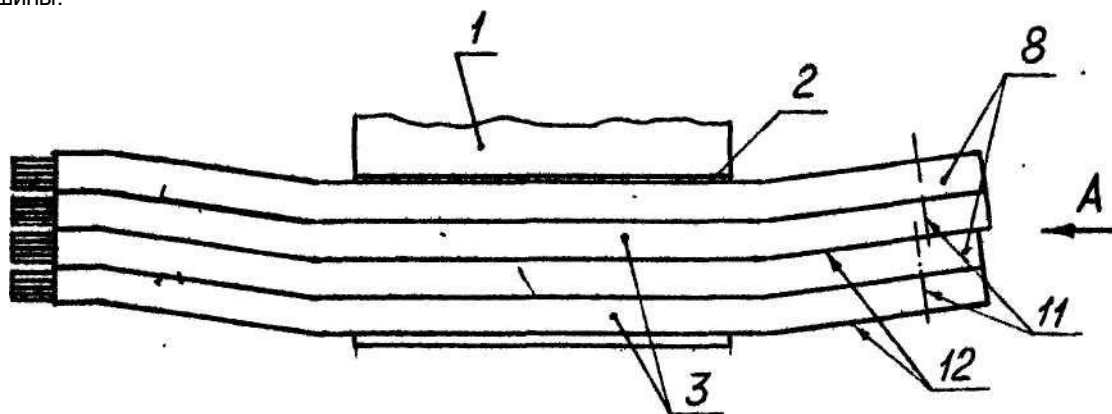
Максимальный габарит спирального перехода в направлении оси обмотки статора

$$H_2 = h_2 + b_x . \quad (12)$$

Максимальный габарит лобовой части одновитковой катушки (фиг. 3)

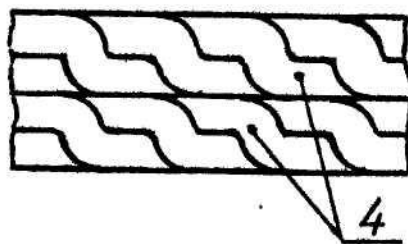
$$H = h + H_2 . \quad (13)$$

Таким образом предлагаемая конструкция одновитковой катушки двухслойной обмотки позволяет сократить кроме аксиального еще и радиальный габарит передних лобовых частей обмотки статора, а также открывает возможность укладки двух и более двухслойных обмоток в одноименные пазы сердечника статора, увеличивает степень использования конструктивного пространства электрической машины.

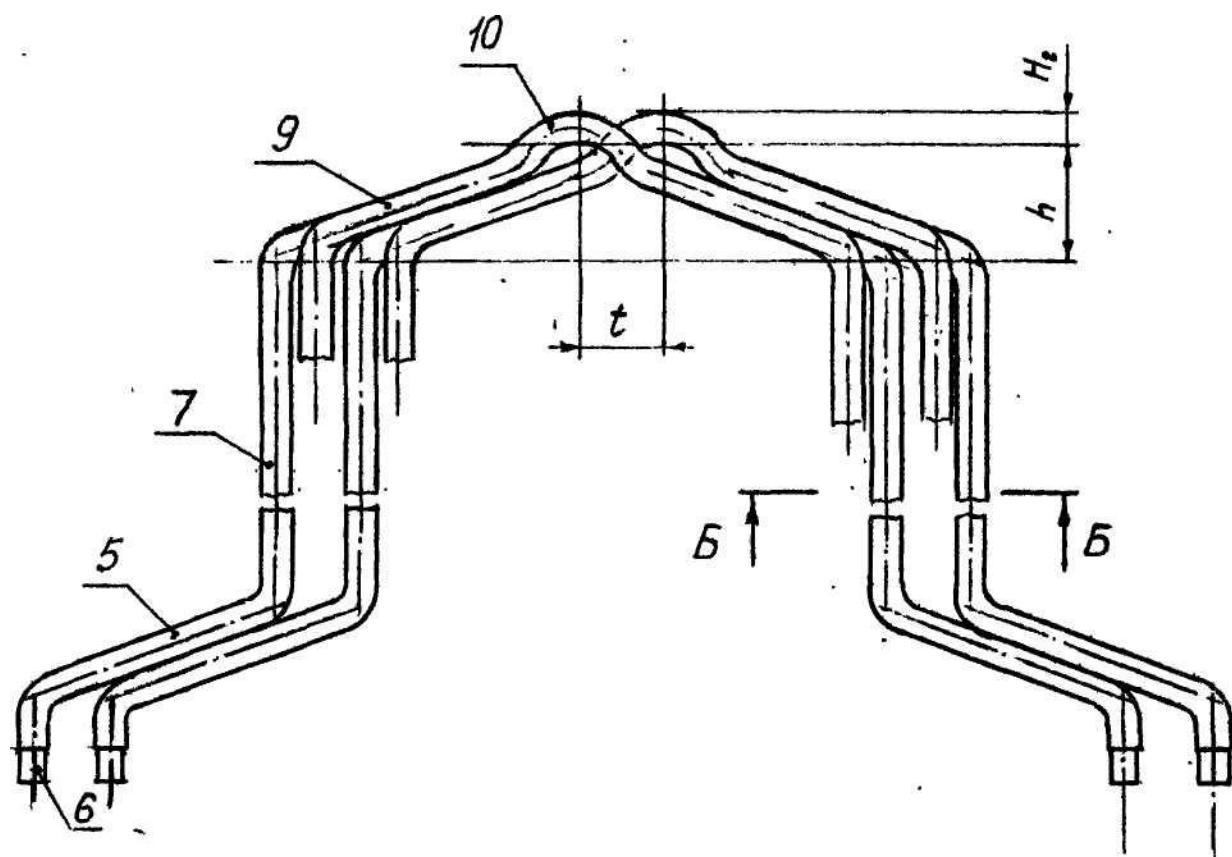


фиг. 1

A

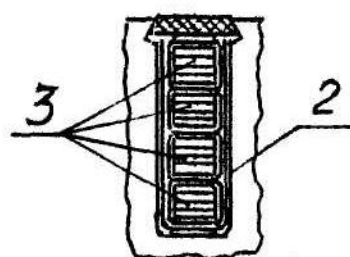


фиг. 2

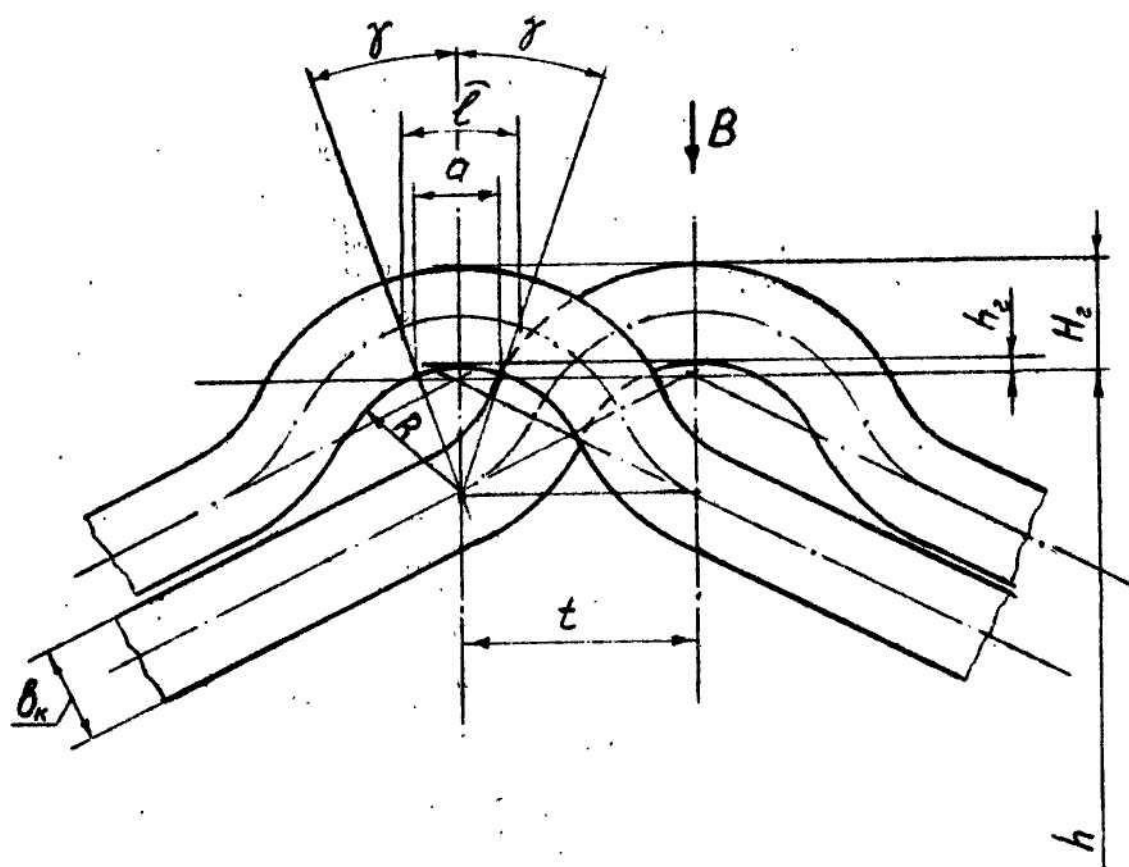


фиг. 3

Б-Б

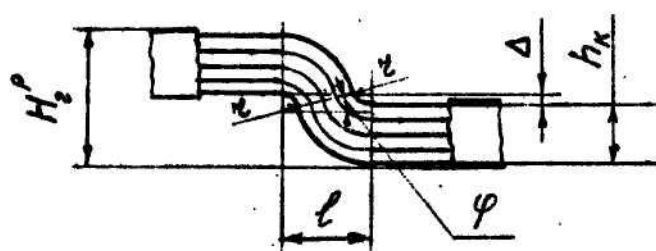


фиг. 4



фиг. 5

B



фиг. 6.