

Вертинский П. А.г. Усолье-Сибирское
pavel-35@mail.ru

Краткое вступление.

Проблема повышения экономичности функционирования транспортных систем сопровождается развитием транспорта на протяжении всей его многовековой эволюции.

Так как коэффициент полезного действия (К.П.Д.) трансмиссии любого транспортного средства непосредственно сказывается на экономичности транспортных систем, то вся история развития транспорта в сущности представляет собой летопись технических решений, направленных на повышение К.П.Д. Так как общий К.П.Д. системы механизмов, составляющих трансмиссию, равен произведению К.П.Д. каждого из этих механизмов, то вполне естественным представляется стремление всех разработчиков транспортных систем уменьшить число таких механизмов трансмиссии путем совмещения их функций. Особенно многочисленными в этом направлении технического прогресса транспортных систем являются попытки совмещения функций движителя и двигателя в одном механизме, который в истории транспорта получил название активного колеса. Вместе с тем, многочисленные механические конструкции активных колес, в том числе и с применением гидравлических устройств, в свою очередь состоят из большого числа отдельных узлов - механизмов передачи усилий, что не позволяет значительно повысить общий К.П.Д. таких активных колес [1].

Электрификация транспорта позволила значительно повысить экономичность транспортных систем, но это направление технического прогресса относится пока преимущественно лишь к рельсовому транспорту, привнеся в него и новые технические проблемы. Одной из таких ключевых проблем электрификации транспорта является задача надежного и эффективного токосъема, то есть подвода электроэнергии к подвижному транспортному средству с целью обеспечения электропитания его силовой тяговой установки. В современном электротранспорте задача токосъема решается с помощью скользящих контактных устройств, которые не только снижают К. П. Д. электротранспорта, но и ограничивают его скорость, надежность и сроки службы. Данное обстоятельство объясняется сложившимися на основе классической электродинамики в традиционной электротехнике представлениями об индуктивной связи между электрическими цепями, элементы которых предполагаются неподвижными, как это имеет место, например, в трансформаторах. Это требование относительной неподвижности элементов электрических цепей для индуктивной связи обосновано известным законом Фарадея о величине ЭДС электромагнитной индукции:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1), \quad \text{где} \quad \Phi = BS \quad (2) \quad \text{и} \quad B = \mu_0 H \quad (3)$$

Как видно из указанных выражений (1), (2) и (3), не является самоочевидным вывод об отсутствии ЭДС при относительном вращении двух коаксиальных цилиндрических обмоток. Между тем, величина и направление магнитной напряженности H введены в классической электродинамике на основе известных опытов Эрстеда, когда природа ферромагнетизма не была известной, что и получило отражение в известном «электромагнитном парадоксе» и в выражении одного из уравнений Максвелла, что магнитное поле не имеет источника, то есть: $\operatorname{div}B = 0$ (4)

В действительности, так как «монополюс» магнетизма является электрический ток, создающий вокруг себя данное магнитное поле [2], то величина магнитного поля

характеризуется магнитным натяжением: $T = \frac{I}{2pr}$ (5), которое сразу определяет ЭДС:

$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{2pr} \frac{dI}{dt} + \frac{I}{2pr^2} \frac{dr}{dt}$ (6). Среди многочисленных практических следствий

магнитодинамики из этого выражения (6) самоочевидным является вывод об отсутствии ЭДС при относительном вращении двух коаксиальных цилиндрических обмоток, если сохраняется условие, чтобы $r = \text{Const}$. Другими словами, известное из электротехники условие трансформации, что: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ (7) является одинаково

справедливым для неподвижных и для вращающихся относительно друг друга коаксиальных цилиндрических обмоток. Данный вывод и положен в основу нового способа осуществления индуктивного токосъема для этой технической задачи. Ниже рассмотрим несколько конкретных примеров решения данной технической задачи для различных условий эксплуатации.

I. Активное колесо транспортного средства по патенту №1736752 РФ. [3].

Данное колесо может быть использовано в транспортных средствах повышенной проходимости по слабым грунтам в условиях тундры, пустыни, переувлажненных почв в период весенне – летних полевых работ и т. п.

Колесо состоит из ступицы 1 и эластичных камер 2, надетых на ось 3 ходовой части транспортного средства.

Ступица 1 состоит из ферромагнитного цилиндра 4, на внутренней поверхности которого в пазу коаксиальная кольцевая вторичная обмотка 5 трансформатора электропитания колеса. По круговому сечению цилиндра 4 равномерно размещены электромагниты 6, магнитная цепь которых включает в себя прилегающие области цилиндра 4 и оси 3, и замкнута на себя в каждом электромагните. На основаниях 7 в пазах обмотки 5 размещены тиристоры 8 системы управления разрядами. Снаружи цилиндра 4 укреплены электроизолирующие цоколи 9, в которых с помощью закладных элементов 10 укреплены электроразрядники 11 по два с противоположных сторон цилиндра 4, которые соединены с обмоткой 5 через тиристоры 8, в цепь управления которых включены обмотки электромагнитов 6. По периферийным поверхностям цоколей 9 выполнены пазы 12, в которые вставлены кромки 13 рабочих камер 2. С помощью отбортованных торцовых крышек 14 кромки 13 укреплены в пазах 12 винтом 15. С помощью торцовой крышки 16 и винтов 17 колесо в сборе укреплено на оси 3 с возможностью свободного вращения.

На оси 3 коаксиально с обмоткой 5 выполнена первичная кольцевая обмотка 18 трансформатора электропитания колеса, которая соединена с первичным источником напряжения на борту транспортного средства с помощью электроизолированных проводов в сверлениях 19 оси 3 колеса.

В плоскости сечения электромагнитов 6 снизу на оси 3 выполнен по размеру электромагнита 6 немагнитный якорь в виде диэлектрической пробки 20. Ось 3 имеет выступ - кронштейн 21 поворота оси относительно цилиндра 4 с помощью, например, тяги от рычагов управления транспортным средством.

Вторичная обмотка 5 трансформатора электропитания колеса является двухсекционной, одна из секций 22 является повышающей и служит для питания высоким напряжением разрядников 11 в камерах 2. Другая секция 23 является источником напряжения управления работой тиристоров 8, соединенных с секцией управляющим электродом через обмотку соответствующего электромагнита 6, являющегося формирователем разрядов соответствующих разрядников 11 в камерах 2.

Внутренняя полость камер 2 заполнена через обратные клапаны - ниппели 24 рабочей средой (жидкостью или газом) по конкретным условиям эксплуатации.

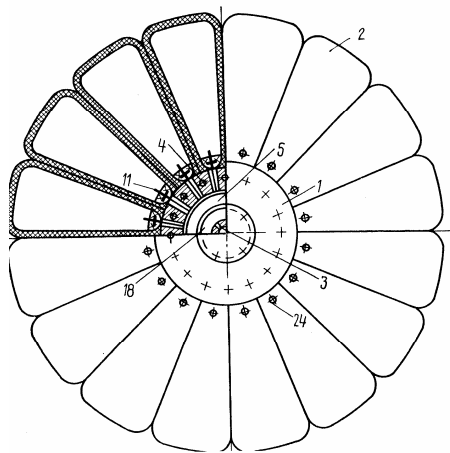


Рис.1 – 1. Вид колеса с $\frac{1}{4}$ выреза радиальными плоскостями.

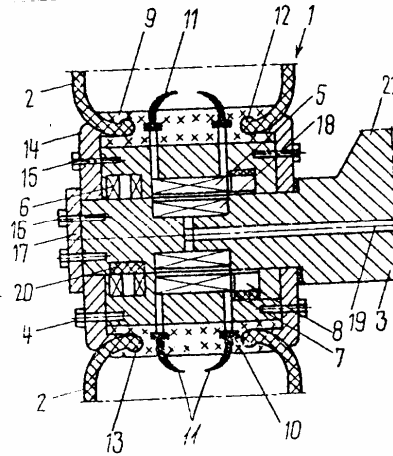


Рис.1 – 2. Разрез по оси ступицы колеса плоскостью чертежа.

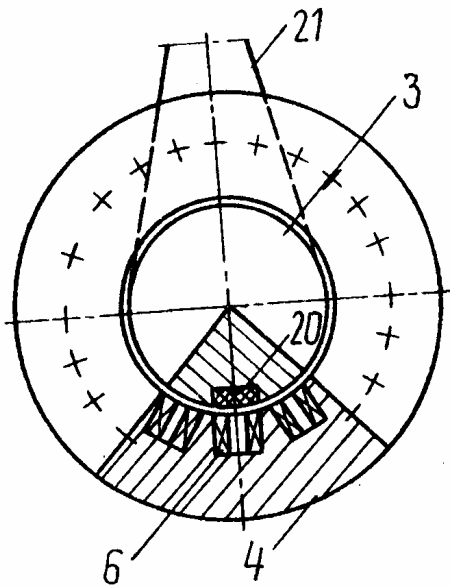


Рис.1 – 3 Ступица колеса с $\frac{1}{4}$ выреза по формирователям разрядов.

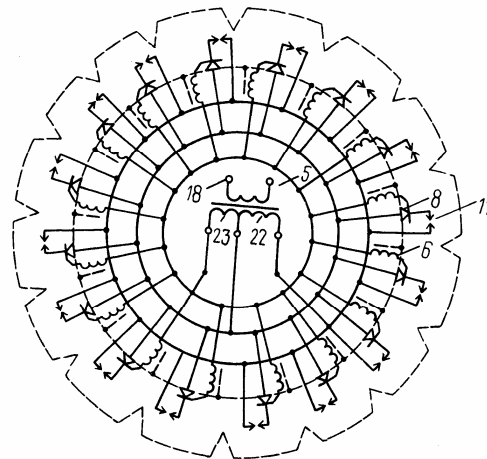


Рис.1 – 4 Принципиальная электросхема колеса.

При включении электропитания на первичную обмотку 18 трансформатора электропитания колеса на вторичных обмотках 22 и 23 создаются вторичные напряжения, которые подводятся к разрядникам 11 через электромагниты 6.

Так как немагнитная пробка 20 замыкает нижний электромагнит 6, то вследствие малой величины индуктивности этот электромагнит в цепи управления работой тиристора нижней камеры открывает электропитание на разрядники 11 в момент расположения камеры 2 снизу колеса, когда соответствующий электромагнит 6 занимает положение у пробки 20. В результате электрического разряда на электродах 11 в нижней камере 2 ее объем резко увеличится, создавая реакцию опоры о грунт, что и приводит к образованию тяги колеса в заданном направлении. Путем поворота кронштейна 21 создается заданное опережение разрядов, определяя момент образования опоры о грунт камеры 2, позволяя регулировать величину и направление тяги колеса.

II. Активное колесо рельсового транспорта по заявке Роспатента № 93054912 / 11. [4]

Колесо предназначено для сообщения тяги рельсовому транспорту, поэтому оно может быть применено на городском пассажирском рельсовом транспорте, на внутрирельсовом электротранспорте и т.п.

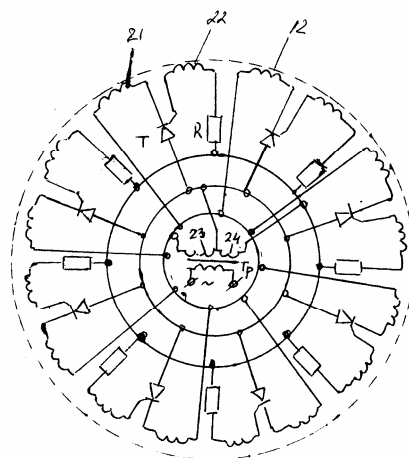
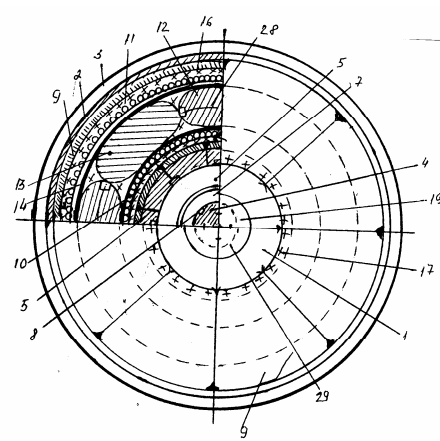
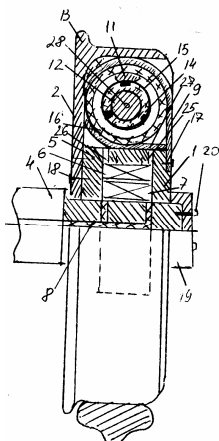


Рис. II-1 Вид колеса с 1/4 выреза радиальными плоскостями

Рис. II-2 Вид колеса сбоку с 1/4 выреза радиальными плоскостями

Рис. II-3 Принципиальная электросхема колеса

Колесо состоит из ступицы 1 и обода 2 с ребордой 3, надетых на ось 4 ходовой части электротранспортного средства. Ступица 1 содержит магнитопровод 5 в виде цилиндра с кольцевым пазом внутри, в котором вложена вторичная обмотка 6 трансформатора индуктивного токосъема, первичная обмотка 7 которого размещена концентрически на неподвижной оси 4, по сверлениям 8 в которой проложены провода от блока электропитания на борту транспортного средства, соединенного, например, с первичной контактной сетью.

На цилиндре 5 магнитопровода хомутами 9 крепятся секции 10 тороидальной обмотки 11 электромагнита с подвижным сердечником – якорем 12, в котором размещен в пазу – зазоре немагнитный стержень 13. Якорь 12 со стержнем 13 размещены в полости тороидальной обмотки 11 из секций 10 с возможностью скольжения по трем направляющим ползьям 14 на электроизолирующих прокладках 15, укрепленных равномерно на внутренней поверхности обмотки 11.

Обмотка 11 помещена в электроизолирующем слое 16, который с помощью винтов 17 прикреплен к торцу магнитопровода 5. К противоположному торцу магнитопровода 5 винтами 18 крепится обод колеса с ребордой 3. С помощью крышки 19 и винтов 20 колесо размещено на оси 4 с возможностью вращения.

Каждая секция 10 обмотки 11 содержит две части: силовую 21 и управляющую 22, которые соединены с вторичной обмоткой 6, имеющей также две части: силовую 23 и управляющую 24.

Каждая силовая обмотка 21 секции 10 соединена с помощью тиристора Т с силовой обмоткой 23 трансформатора, а в цепь управления каждого тиристора Т включена обмотка управления 22 каждой данной секции 10, через резистор R соединяясь с обмоткой 24 управления трансформатора. Все силовые 21 и управляющие 22 обмотки всех секций тороидальной обмотки 11 по экватору тора чередуются между собой. Тиристоры Т и резисторы R схемы управления электропитанием секций 10 размещены в гнездах 25 и 26 на внутренней поверхности цилиндра 5, вблизи которых выполнены отверстия 27 для проводов соединения с обмоткой 6. Якорь 12 стянут винтом 28 по круговой оси.

Необходимое количество пар колес по описанному устанавливается на рельсовом транспортном средстве в соответствии с заданными условиями эксплуатации. При включении электропитания напряжение вторичной обмотки 6 трансформатора подводится к тиристорам Т всех секций 10. В каждой из них, внутри которой в

данный момент размещен стержень 13, индуктивное сопротивление оказывается заниженным, что открывает ее тиристор Т подводя ток к силовой части 21 секции 10. В результате образования магнитного поля данной секции она втягивает в себя магнитный якорь 12, смещая одновременно и стержень 13 в очередную секцию 10, поддерживая таким образом непрерывное движение якоря 12, реакция которого создает тягу колеса в обратном направлении.

По заявке № 93054912/11 автор получил решение Роспатента о выдаче патента на изобретение Активное колесо рельсового транспорта [4].

III. Безопорная контактная сеть с индуктивным токосъемом по заявке Роспатента № 93036393/11 [5]

Контактная сеть предназначена для электропитания рельсового транспорта и может быть использована на городском, внутрицеховом и т.п. электротранспорте.

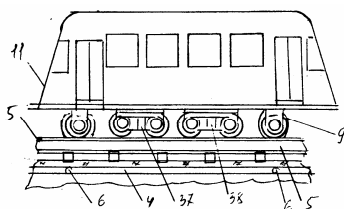


Рис. III-1 Общий вид сбоку локомотива

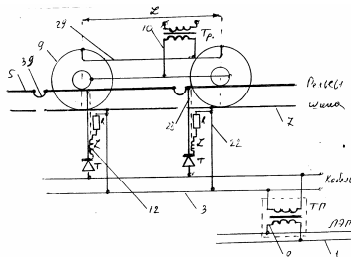


Рис. III-2 Принципиальная электросхема безопорной контактной сети

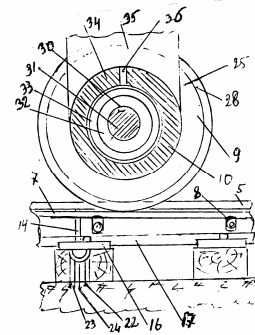


Рис. III-3 Поперечный разрез колесной пары с трансформатором

Безопорная контактная сеть с индуктивным токосъемом включает в себя ЛЭП 1, тяговую подстанцию ТП 2, кабельную ЛЭП 3, проложенную в трубе 4 в непосредственной близости от рельсового пути 5, в котором на заданных расстояниях выполнены отверстия с люками 6 для доступа и размещения электросхемы тиристорного управления, токоподводящей шины 7 на кронштейнах 8 крепления к рельсам 5, токосъемных колесных пар 9, соединенных электрически с силовым трансформатором 10 локомотива 11.

Электросхема управления состоит из индуктивного датчика 12 в виде катушки 13 на стержне 14 с головкой 15 на уровне нижней кромки подкладки 16 под рельсовой подошвой 17, в отверстиях 18 которой на заданных расстояниях закреплены датчики 12 с помощью, например, сварки 19. Катушка 13 с добавочным резистором R включена в цепь управления тиристора Т, подключающего рельс 5 к полюсу кабельной ЛЭП 3 в трубе 4, второй полюс которой соединен непосредственно с шиной 7 на прокладках 20 кронштейнов 8, укрепленных к рельсам 5 болтовыми соединениями 21.

Электропровода 22 соединяют шину 7 с ЛЭП 3, провода 23 соединяют рельс 5 с ЛЭП 3, провода 24 соединяют датчик 12 с тиристором Т и резистором R в схеме управления.

Токосъемная колесная пара 9 имеет два колеса 25, на ребрах 26 которых с помощью электроизолирующих прокладок 27 укреплены, например, опрессовкой кольцевые токосъемники 28, электрически соединенные проводами 29 в сверлениях и пазах 30 на оси 31 с первичной вращающейся обмоткой 32 силового трансформатора 10, вторичная обмотка 33 которого размещена коаксиально с первичной обмоткой 32 в корпусе 34 с кронштейнами 35 крепления трансформатора 10 к платформе локомотива 10. Каждый вагон – локомотив электропоезда имеет по две колесных пары 9 по описанному, размещенных крайними, между которыми размещены опорные и тяговые тележки 37 и 38, являющиеся типовыми, применяемыми по своему прямому назначению.

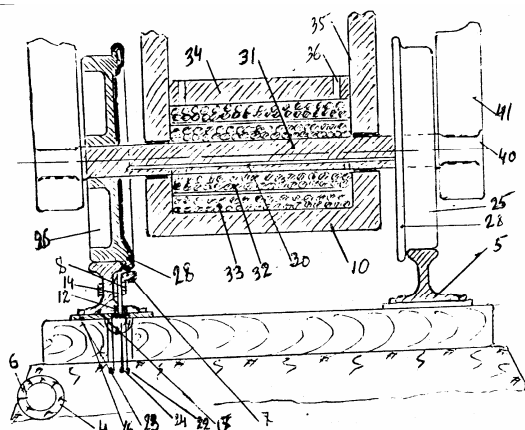


Рис.Ш-4 Продольный разрез колёсной пары

Рельсы 5 по стыкам соединены перемычками 39, каждый участок шины 7 соединен проводом 23 с жилой кабельной ЛЭП 3.

Шейки осей 40 пар 9 размещены в типовые буксы 41 с подшипниками скольжения.

При включении тяговой подстанции ТП 2 на ЛЭП 3 подается напряжение, которое подводится к шине 7 через тиристор Т с датчиком 12 и к рельсам 5, соединенных между собой перемычками 39.

Так как по месту нахождения вагона – локомотива 11 рельс 5 прогибается под тяжестью вагона, то головка рельса деформируется, прогибаясь, выдвигает головку 15 стержня 14 из отверстий 18 подошвы 17 и подкладки 16, уменьшая тем самым индуктивность катушки 13, которая и открывает соответствующий тиристор, подключая таким образом через него к источнику напряжения свой участок шины 7, откуда оно подается на первичную обмотку трансформатора 10, со вторичной обмотки 33 которого снимается рабочее напряжение на энергосиловое оборудование локомотива.

При движении вагона – локомотива 11 по рельсовому пути 5 таким же способом под действием веса локомотива осуществляется поочередное подключение соответствующих участков шины 7, обеспечивая непрерывное электропитание тяговой установки вагона – локомотива.

По заявке № 93036393/11 автор получил решение Роспатента о выдаче патента на изобретение Безопорная контактная сеть с индуктивным токосъемом [5].

IV.Тиристорный электродвигатель по заявке Роспатента № 4806386/07 [6]

Электродвигатель позволяет повысить устойчивость и надежность электропривода при перегрузках в различных режимах работы в стационарных условиях и на транспортных средствах.

Электродвигатель состоит из статора 1, ротора «, подшипниковых щитков 3 и 4 с подшипниками 5, в которых размещен вал 6 ротора 2. На валу 6 в торцевой части ротора 2 выполнена вторичная обмотка 7 трансформатора с выпрямителем 8 в пазу 9 ротора 2. Коаксиально обмотке 7 в статоре 1 выполнена первичная обмотка 11 трансформатора и неподвижная вторичная двухсекционная обмотка 12 управления этого же трансформатора.

В пазах 13 статора 1 и ротора 2 выполнена зигзагообразная обмотка 14, лобовые изгибы 15 которой закреплены в пазах 16 статора 1 и ротора 2. В гнездах 17 в плоскости сечения по пазам 16 размещены дроссели 18 параметрической связи, включенные в цепи управления тиристоров T_1 и T_2 , размещенных в клеммной коробке 19. Весь двигатель в сборе размещен на станине 20.

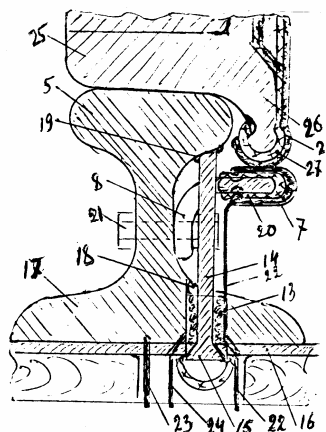


Рис.Ш-5 Местный вырез через индуктивный датчик

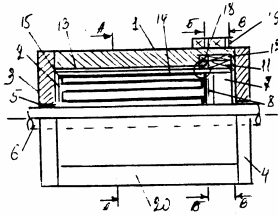


Рис.IV-1
Вид двигателя
сбоку с 1/4 выреза
радиальными
плоскостями

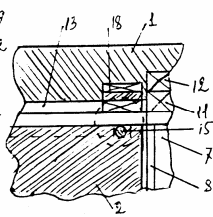


Рис.IV-2
Местный разрез
по дросселям 18
радиальной
плоскостью

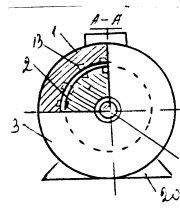


Рис.IV-3
Вид с торца
с 1/4 выреза
по А – А
рис.IV-1

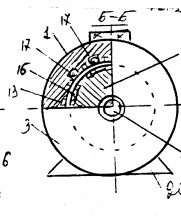


Рис.IV-4
Вид с торца
с 1/4 выреза
по Б – Б
рис.IV-1

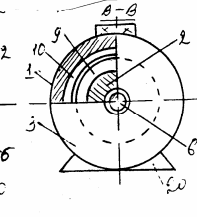


Рис.IV-5
Вид с торца
с 1/4 выреза
по В - В
Рис.IV-1

При включении электропитания первичной обмотки 11 трансформатора возникают вторичные напряжения во вторичных обмотках 7 и 12. Напряжение обмотки 7 подается на выпрямитель 8, откуда поступает постоянный ток на обмотку ротора 2, создавая в магнитопроводе ротора постоянное магнитное поле. Напряжение обмотки 12 через тиристоры T_1 и T_2 подводится к выводам зигзагообразной обмотки статора 1, определяя направление тока в ней в соответствии с фазой работы соответствующего тиристора, которая изменяется в связи с относительным положением дросселей 18 и коленных изгибов 15 обмотки 14.

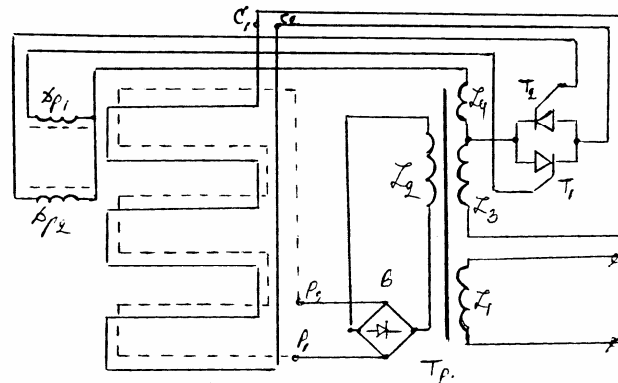


Рис.IV-6 Принципиальная электросхема
тиристорного электродвигателя

V. Дождевальная установка по патенту № 2063122 РФ [7]

Примером применения индуктивного токосъема для воздушного транспортного средства может служить исполнение электропривода в указанном изобретении.

Установка предназначена для орошения путем дождевания на значительных расстояниях от источников водоснабжения и электропитания, поэтому она может быть использована для пожаротушения лесов и степей, промышленных объектов в труднодоступных местах и т.п.

Установка состоит из шасси 1 в виде треугольной фермы, по углам которой укреплены кронштейны 2 с возможностью вращения вокруг вертикальных осей с колесами 3 облегченной конструкции, а в центре фермы размещена накопительная емкость 4 с балансиром 5 и электрореактивными аэродинамическими винтами 6 противоположных направлений вращения на осевой трубе 7. С помощью гибкого шланга 8 с кабелем 9 шасси 1 соединено с барабаном 10 с приводом 11 и водозабором 12, а кабелем 13 с блоком электропитания 14. Для увеличения удаленности от водоемов в качестве водозабора 12 может использоваться трубопроводная магистраль с отрицательным гидравлическим сопротивлением [8]. Внутри балансиров 5 размещены электрогидравлические насосы 15, соединенные с эластичными баллонами, под осевой трубой в емкости 4 выполнен

электрогидравлический насос 16 со штуцером 17, к которому присоединен шланг 8 от барабана 10. Балансиры 5 соединены с насосами 15 патрубками 18. Подробнее об устройстве и работе электрогидравлических насосов различных конструкций можно узнать в [7].

Аэродинамические винты 6 выполнены в виде полых лопастей 19 аэродинамического профиля, на концах которых закреплены электрореактивные сопла 20, соединенные гидравлически с осевой трубой 7 трубками 21 с уплотнениями 22 у отверстий 23 в трубе 7, а электрически - с блоком питания 14 посредством индуктивного токосъёмника 24.

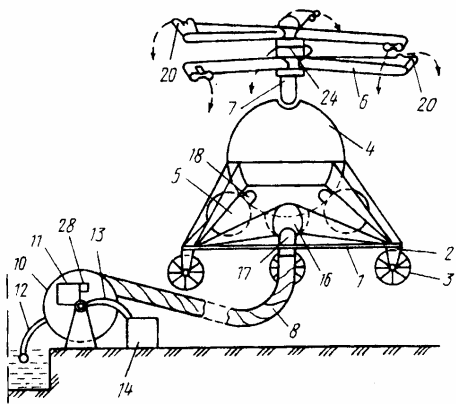


Рис.V-1 Общий вид установки

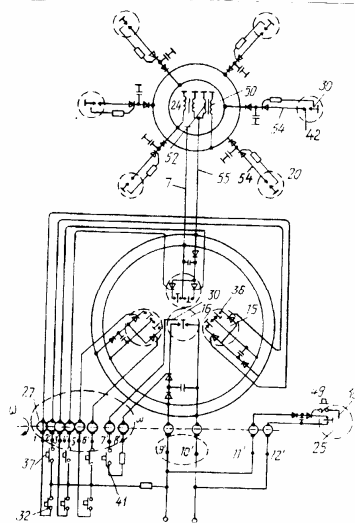


Рис.V-2 Принципиальная электросхема установки

Внутри барабана 10 размещен насос 25, соединенный гидравлическим уплотнением 26 с водозабором 12, а коммутационное устройство 27 со скользящими контактами соединяет электрокабель 13 с блоком питания 14. Привод 11 барабана 10 имеет электродвигатель 28 с червячным редуктором 29.

Электропитание электрогидравлических насосов 15, 16 и 25 осуществляется от автономных генераторов импульсного тока (ГИТ,ов), содержащих выпрямительные диоды Д с емкостными фильтрами С и тиристоры Т, в цепь управления которых включены формирователь разрядов 30 в виде стержней в пробках 31 [см. источник 9], последовательно которым включены пусковые кнопки 32. Все ГИТ,ы размещены в виде блоков 33 для каждого насоса и закреплены в непосредственной близости от него. Насосы 15 балансиры 5 содержат всасывающие 34 и нагнетательные 35 клапаны, разрядники 36, соединенные с блоком электропитания через тиристоры, в цепи управления которых включены пусковые кнопки 37. Напорный насос 16 имеет клапаны 38 и 39, электроды 40 разрядника, подключенные к ГИТ,у, в цепь управления которого включен формирователь разрядов 30 с кнопкой 41.

Сопло 20 содержит разрядники 42, всасывающий клапан 43, выхлопное сопло в виде прижатых губок 44 с компенсаторами 45. Насос барабана 10 содержит корпус 25, клапаны 46 и 47, разрядники 48 и пусковую кнопку 49 в цепи управления ГИТ,а.

Индуктивный токосъем 24 представляет собой два трансформатора с вращающимися вторичными обмотками 50 внутри сердечника 51, первичная обмотка 52 которого размещена на трубчатом сердечнике 53 на трубе 7. Выводы вторичных обмоток трансформаторов соединены с разрядниками 42 сопел 20 проводами 54 и трубопроводом 21 внутри лопасти 6. Электропитание трансформаторов индуктивного токосъема осуществляется по проводу 55 и осевой трубе 7, подключенных штепсельным разъемом от кабеля 9. Токосъемник 24 закреплен на трубе 7 с возможностью вращения торцевой крышкой 57 с винтами 58.

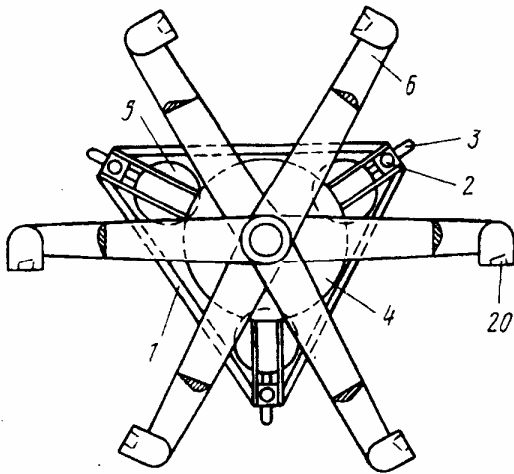


Рис.V-3 Вид сверху установки

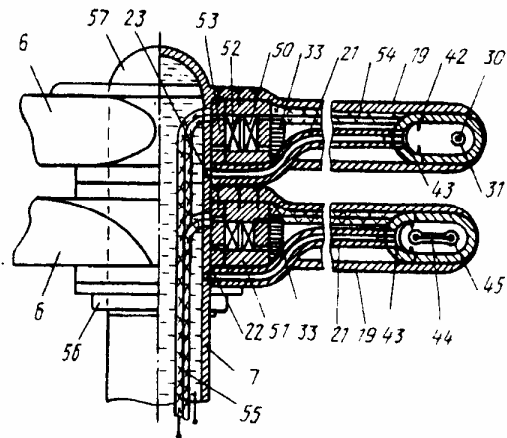


Рис.V-4 Разрез вертикальной плоскостью
аэродинамического движителя
с индуктивным токосъемом

При включении электропитания от блока питания по кабелю 13 напряжение подводится к коммутационному устройству барабана 10, от которого по кабелю 9 до штепсельного разъема на штуцере 17, от которого по проводу 55 и трубе 7 к первичной обмотке 52 трансформаторов индуктивного токосъема. Вторичное напряжение от обмоток 50 по проводам 54 и трубкам 21 подводится к ГИТ,ам и разрядникам 42 сопел 20. В результате электрогидравлического эффекта

Из сопел 20 истекают струи воды, раздвигая губки 44, образуя реактивную тягу для вращения винтов 6 и разбрызгивая воду для орошения. Путем регулирования наполнения балансиров 5 с помощью насосов 15 изменяется наклон оси винтов 6, изменяя и направление общей тяги винтов 6 в заданном направлении.

Разумеется, примеры применения индуктивного токосъема для решения технических задач транспортных систем можно продолжать не только известными и уже опубликованными работами, но из изложенного ясно, что такой способ индуктивного токосъема может найти в будущем на транспорте широкие перспективы.

Литература:

1. Крайнев А.Ф. Словарь – справочник по механизмам. – М.: Машиностроение, 1987, стр. 228 и др.
- 2.Вертинский П.А. К вопросу о полноте аксиоматики физических теорий // Вестник ИРО АН ВШ РФ № (1) 4, Иркутск, БГУЭП, 2004, стр.126 и др.
- 3.Вертинский П.А. Активное колесо транспортного средства//Патент №1736752 РФ БИ № 20 / 1992.
- 4.Вертинский П.А. Активное колесо рельсового транспорта // ИЛ № 017-93 ЦНТИ, Иркутск,1993.
5. Вертинский П.А. Безопорная контактная сеть // ИЛ № 058-93 ЦНТИ , Иркутск,1993.
6. Вертинский П.А. I. Магнитодинамика . г.Усолье-Сибирское. 1993, стр.99.
7. Вертинский П.А. Дождевальня установка // Патент № 2063122 РФ, БИ № 19/ 1996 .
- 8.Вертинский П.А. Электрогидравлическая трубопроводная магистраль с отрицательным гидравлическим сопротивлением как принципиальная техническая основа решений природоохранных задач//Сб.«Сибресурс2003», БГУЭП, Иркутск, 2003,стр.296.
- 9.Вертинский П.А. Повышение эффективности электрогидравлических систем с использованием кумулятивного электрогидравлического эффекта // Сб. «Сибресурс-2002», ИГЭА, Иркутск, 2002, часть 1-я, стр.50 и др.