ČESKÁ A SLOVENSKÁ FEDERATIVNÍ REPUBLIKA
(19)

FEDERÁLNÍ ÚŘAD PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

266 369

(11)

(13) B1

(51) Int. Cl.[4] H 01 L 39/20

(21) PV 8284-84
(22) Přihlášeno 31 10 84

(40) Zveřejněno 15 10 87
(45) Vydáno 29 05 92
(89) 1130148, 07 06 83, SU

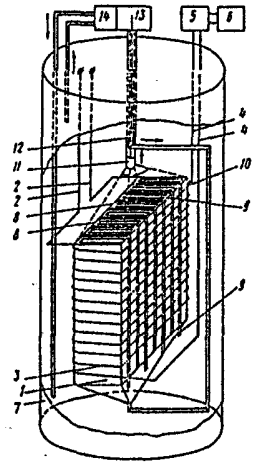
(75)
Autor vynálezu

MARKOVSKIJ NIKOLAJ VIKTOROVIČ,
MARKOVSKAJA MARIANA PAVLOVNA,
SČASTLIVYJ GENNADIJ GRIGORJEVIČ, KIJEV (SU),
KOKAVEC JAN,
CESNAK LADISLAV,
CHLASNIK IVAN, BRATISLAVA (CS)

(54)

Výkonný kryotron

(57) Výkonový kryotron obsahuje bezindukční supravodivý spínací prvek (1) se silovými výstupy (2) a dále dosahuje řídicí systém, zahrnující řídicí vinutí (3), navinuté na supravodivý spínací prvek (1), přičemž vývody řídicího vinutí jsou připojeny k řídicímu bloku (5). Nové je to, že supravodivý spínací prvek (1) je proveden ze stejných, navzájem rovnoběžných tenkostěnných trubek (8), kterými se prečerpává chladicí látka, jejichž konce jsou elektricky spojeny mezi sebou a se silovými výstupy (2). Supravodivý spínací prvek (1) je tepelně izolován od řídicího vinutí (3).



Obr. 1

CS 266369 B1

1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

Заявлено: 07.06.83
Заявка No. 3604114/24-25
МКИ* H 01 L 39/20
Авторы : Н.В.Марковский, М.П.Марковская, Г.Г.Счастливый (СССР)
и И.Кокавец, Л.Цеснак, И.Хласник (ЧСФР)
Заявитель: Институт электродинамики АН УССР и Электротехнический институт
ЦЭФИ САН (ЧСФР)

Название изобретения: **МОЩНЫЙ КРИОТРОН**

Изобретение относится к области сильноточной электротехники и может быть использовано в качестве сверхпроводящих ключей преобразователей электрической энергии, работающих при сверхнизких температурах, например, в бесконтактных устройствах запитки сверхпроводящих обмоток возбуждения мощных криотурбогенераторов или в сверхпроводящих устройствах согласования энергетического сверхпроводящего накопителя и энергосистемы.

Известен сверхпроводящий ключ, содержащий безындуктивную катушку ключевого элемента, образованную намоткой на кольцевой изоляционный каркас сверхпроводящей ленты, контактирующей по крайней мере с одной стороны на большей части своей длины с проницаемой для хладагента электроизолирующей стекловолоконной лентой, систему магнитного управления, содержащую кольцевую управляющую обмотку, охватывающую ключевой элемент и создающую магнитное поле, направленное параллельно плоскости сверхпроводящей ленты этого элемента, блок управления и источник питания [1].

При заданной мощности системы управления сверхпроводящего ключа его быстродействие определяется величиной критического магнитного поля и полным объемом ключевого элемента. Стремление увеличить быстродействие известных сверхпроводящих ключей с магнитным управлением обуславливает применение для изготовления ключевых элементов сверхпроводников с критическим магнитным полем $B_{c2} < 1$ Т. Такие сверхпроводники (ниобий, сплав свинца с висмутом) обладают низкой критической температурой T_c и низкой удельной коммутируемой мощностью $P_k = j^2_k \rho$, где j_k – критическая плотность тока; – удельное сопротивление в нормальном состоянии при сверхкритическом магнитном поле, что при заданной коммутируемой мощности неизбежно приводит к большому расходу сверхпроводника на изготовление ключевого элемента и обмотки управления, если последняя изготовлена из сверхпроводника.

Наиболее близким по технической сущности является мощный криотрон, включающий безындуктивный сверхпроводящий ключевой элемент, силовые выводы ключевого элемента, систему управления, содержащую обмотку управления, охватывающую ключевой элемент, выводы обмотки управления через блок управления [2].

Подобные мощные криотроны использованы в сверхпроводящем выпрямителе мощностью 60 Вт при чисто омической нагрузке и общих криогенных потерях до 10%, использующем ток частотой 50 Гц. Обмотка управления создает в зоне ключевого элемента субкритическое постоянное магнитное поле (B_{c2} сверхпроводника ключевого элемента 0,85 Т), а общее магнитное поле управления колеблется от 0,6 до 0,88 Т, то есть промышленная частота достигается ценой недоиспользования сверхпроводника ключевого элемента, который в сверхпроводящем (открытом) состоянии работает при весьма высоком магнитном поле (0,6 Т), приближающемся к критическому, что снижает токонесущую способность сверхпроводника и коммутируемую мощность кротрона. При возрастании коммутируемой мощности объема ключевого элемента, особенно с учетом изоляции и охлаждающих каналов, и расход сверхпроводника быстро растут. Растут и размеры обмоток управления. Кроме того, известные криотроны чувствительны к магнитным полям рассеяния и не могут работать при повышенных температурах в замкнутых дюарах. При изготовлении же ключевого элемента из сверхпроводящих материалов с высокой индукцией критического магнитного поля B_{c2}, обладающих большой удельной разрывной мощностью P_k (например, NbTi, Nb_3Sn, Nb_3Ge, NbN, NbCN) размеры обмоток управления чрезмерно увеличиваются.

Цель изобретения – снижение расхода сверхпроводника на его изготовление, увеличение быстродействия и повышение надежности его работы.

Цель достигается тем, что в мощном криотроне, включающем безындуктивный сверхпроводящий ключевой элемент, силовые выводы ключевого элемента, систему управления, содержащую обмотку управления, охватывающую ключевой элемент и выводы обмотки, ключевой элемент выполнен из одинаковых тонкостенных трубок, по которым прокачивается хладагент, параллельных одна другой, и оси обмотки управления, концы которых электрически соединены между собой и с силовыми выводами, а ключевой элемент теплоизолирован от обмотки управления, при этом внутренние полости трубок ключевого элемента могут быть заполнены материалом с повышенной магнитной проницаемостью с продольными каналами для хладагента, а если трубки ключевого элемента выполнены из сверхпроводящих лент, то соединения их краев снабжены узкими поперечными разрезами, расположенными с одниковым шагом вдоль трубок.

На фиг.1 схематично изображен общий вид предлагаемого мощного криотрона; на фиг. 2 – сечение ключевого элемента и обмотки управления; на фиг. 3 – трубки ключевого элемента, изготовленные из сверхпроводящих лент.

Мощный криотрон содержит обмотку безындуктивного ключевого элемента 1, его силовые выводы 2, подключаемые к внешней цепи, обмотку 3 управления, охватываающую обмотку 1, ее выводы 4, подключенные через блок 5 управления к источнику 6 электрической мощности системы управления. Обмотки 1 и 3 помещены в криостат 7, являющийся частью системы охлаждения. Ключевой элемент выполнен из тонкостенных сверхпроводящих трубок 8 одинакового сечения (фиг.1, показаны трубки прямоугольного сечения) и одинаковой длины, расположенных параллельно друг другу и направлению магнитной оси обмотки 3 управления. Концы трубок 8 электрически соединены между собой и с выводами 2 сверхпроводящими перемычками 9 так, что в прилегающих друг к другу через электроизоляцию 10 стенках соседних трубок электрические токи направлены встречно и параллельно направлению управляющего магнитного поля (на фиг.1 одноименные концы трубок 8 соединены через один). Перемычки 9 не должны экранировать управляющее магнитное поле, для чего они или размещены вне управляющего поля (вне обмотки 3), или их плоскость параллельна управляющему полю, и вместе с трубками 8 они не образуют замкнутых электрических контуров, перпендикулярных управляющему магнитному полю. Обмотка 3 управления теплоизолирована и электроизолирована от обмотки 1 ключевого элемента, в систему охлаждения введены гелиеподводы 11 и 12, подсоединенные к трубкам 8 и вместе с холодильной машиной 13 образующие циркуляционную систему охлаждения ключевого элемента. Обмотка 3 управления может иметь свою подсистему 14 охлаждения и быть погружена в жидкий гелий, содержащийся в криостате 7. Трубки 8 могут быть частично заполнены (должны остаться каналы для циркуляции хладагента) материалом с повышенной магнитной проницаемостью в виде, например, проволок 15 или лент того иного сечения (на фиг.2 этот материал имеет вид проволок круглого сечения). Распорки 16, расположенные между обмоткой 3 управления и обмоткой 1 ключевого элемента, обеспечивают электрическую и тепловую изоляцию обмоток 1 и 3. При изготовлении трубок 8 из сверхпроводящих лент 17 (двух на фиг.3) их края 18 методом пайки, сварки (холодной сварки) соединяются с образованием продольных соединений 19, чаще всего несверхпроводящих. Как сверхпроводящие, так и несверхпроводящие продольные соединения должны быть снабжены узкими поперечными разрезами 20, следующими вдоль трубок 8, с одинаковым шагом и обеспечивающими отсутствие электропроводности вдоль соединения 19. Распорки 16 могут быть заменены следм вакуумной изоляции, а обмотка управления, изготовленная, например, из криопроводника, может поддерживаться системой 14 охлаждения при более высокой температуре.

Мощный криотрон работает следующим образом. Переключение обмотки 1 ключевого элемента из сверхпроводящего состояния в нормальное (отключение криотрона) осуществляется при подключении к выводам 4 обмотки 3 управления блоком 5 управления источника 6 электрической мощности системы управления, работающего в режиме источника напряжения. Так как в момент подключения напряжения к обмотке 3 трубки 8, индуктивно связанные с обмоткой 3, являются еще сверхпроводящими, то нарастание тока в первичной и вторичной обмотках ограничено только индуктивностью рассеяния, пропорциональной малому зазору между обмотками 3 и 8, и происходит очень быстро. Вторичные токи, замыкающиеся в поперечных сечениях стенок трубок 8, перпендикулярны транспортному току, текущему вдоль стенок. Когда результирующий ток,

протекающий в стенке трубки 8 и равный векторной сумме вторичного и транспортного токов, превзойдет по величине критическое значение для трубки, последняя переходит в резистивное состояние. Рост вторичного тока замедляются, начинается нагрев трубок 8. Одновременно активная мощность начинает поступать и из силовой цепи через выводы 2. По мере роста температуры обмотки 1 ключевого элемента растет и его сопротивление, приближаясь к нормальному сопротивлению закрытого криотрона. При этом саморазогрев ключевого элемента за счет мощности силовой цепи усиливается, приближаясь к расчетному. Если нормальное сопротивление ключевого элемента таково, что при номинальных параметрах силовой цепи его саморазогрев обеспечивает поддержание температуры выше критической, то управляющее напряжение блоком управления может быть отключено. Интенсивность нагрева ключевого элемента за счет мощности системы управления при ограниченных размерах поперечного сечения трубок 8 и обмотки 3 усиливается за счет заполнения внутренней полости трубок 8 материалом с повышенной магнитной проницаемостью, играющего роль магнитопровода индуктивно связанных обмоток 3 и 8. В устройстве может быть предусмотрен обратный магнитопровод из того же или другого материала с высокой магнитной проницаемостью, расположенной в криостате 7 или вне его, и замыкающий магнитопроводы трубок 8. Трубки 8 могут быть выполнены "замкнутыми в магнитном отношении", то есть их разноименные концы могут прилегать друг к другу через электрическую изоляцию. Включение мощного криотрона (переход из нормального состояния в сверхпроводящее) происходит во время перехода напряжения силовой цепи через нуль при уменьшении саморазогрева ключевого элемента и/или за счет прекращения разогрева со стороны системы управления. Следующее отключение криотрона осуществляется при подключении к выводам 4 напряжения обратной полярности. При этом ток в обмотке управления изменяется (уменьшается) от максимального значения, набранного в предыдущем периоде работы криотрона, проходит через нуль и нарастает до максимального значения обратной полярности. Так, в открытом состоянии сверхпроводящий ключевой элемент находится в управляющем магнитном поле, параллельном транспортному току. Поперечные разрезы 20 продольных соединений 19 краев 18 сверхпроводящих лент, из которых изготовлены трубки 8, позволяют увеличить площадь этих соединений и уменьшить их сопротивление так, чтобы тепловыделение на них при росте вторичного тока не переводило преждевременно соединение 19 в нормальное состояние и не гасило вторичный ток, необходимый для нагрева сплошных стенок трубок 8 вне соединений 19. Так как в нормальном состоянии обмотка 1 ключевого элемента нагрета выше критической температуры, то существенна теплоизоляция ее от обмотки 3 управления. Длительность включения мощного криотрона (и коммутационные потери) определяется толщиной стенок трубок 8 и интенсивностью теплоотвода от них. Поэтому важна интенсивная циркуляция хладагента по трубкам 8, обеспечиваемая циркуляционной системой охлаждения ключевого элемента.

В предлагаемом мощном криотроне снижение расхода сверхпроводника на его изготовление достигается возможностью использования сверхпроводника с большими Рп (значит, и с большим B_{c2}) без необходимости в обмотке управления, создающей B_{c2}.

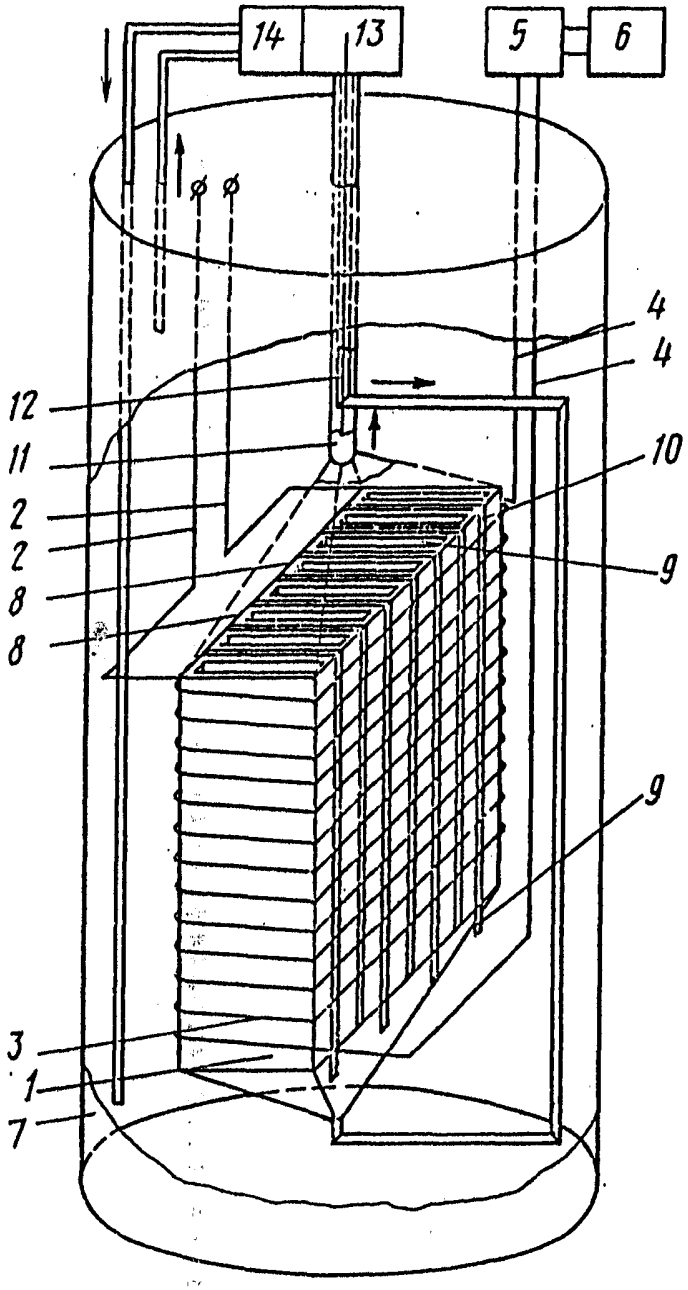
При этом снижение индуктивности ключевого элемента и обмотки управления увеличивает быстродействие криотрона и повышает надежность его работы.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

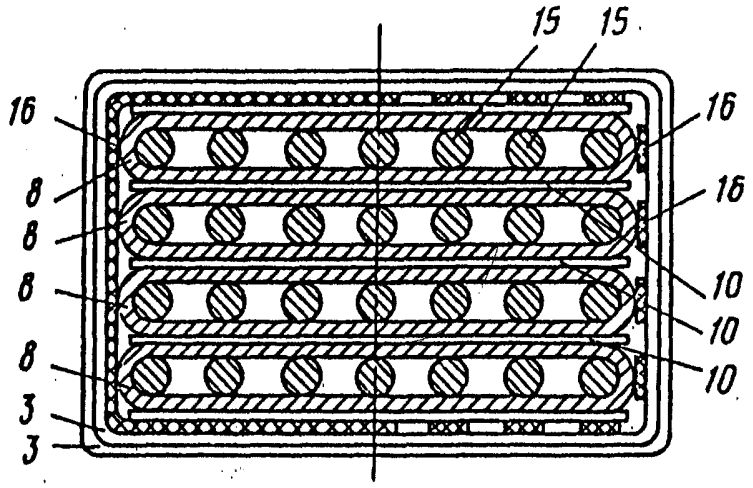
1. Výkonový kryotron, sestávající z bezindukčního supravodivého spínacího prvku se silovými výstupy, na němž je navinuto řídicí vinutí, připojené svými vývody k řídicímu bloku, vyznačující se tím, že za účelem snížení nákladů na výrobu supravodivého spínacího prvku, zvýšení rychlosti a zvýšení jeho spolehlivosti je supravodivý spínací prvek vyroben ze stejných tenkostěnných, navzájem rovnoběžných trubek pro pročerpávání chladicí látky, přičemž konce trubek jsou elektricky spojené mezi sebou a konce krajních trubek jsou spojené se silovými výstupy, zatímco supravodivý spínací prvek je tepelně izolován od řídicího vinutí supravodivého spínacího prvku.

2. Výkonový kryotron podle bodu 1, vyznačující se tím, že vnitřní dutiny trubek supravodivého spínacího prvku jsou zaplněny materiálem s vyšší magnetickou permeabilitou s podélnými kanály pro chladicí látku.

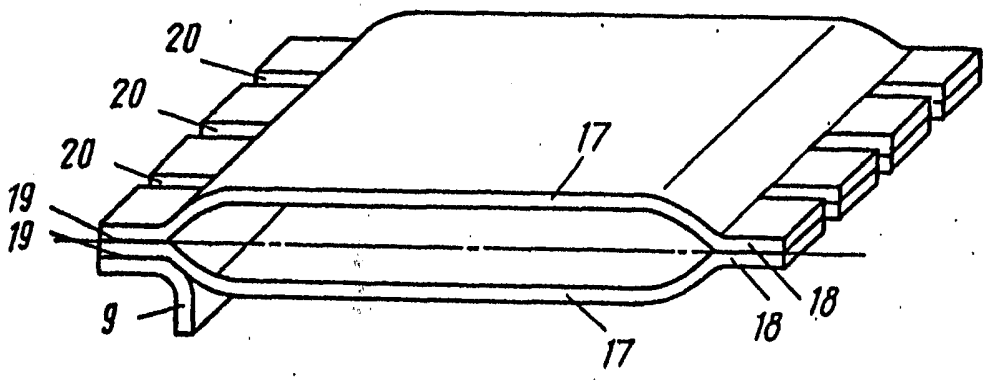
3. Výkonový kryotron podle bodů 1 a 2, vyznačující se tím, že trubky supravodivého spínacího prvku jsou provedeny ze supravodivých pásů, přičemž spoje krajů těchto pásů jsou vybaveny úzkými příčnými řezy, umístěnými se stejnou roztečí podél trubek.



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3