

Тема 2.4: «Сверхпроводники»

1 Сверхпроводники

При понижении температуры удельное электрическое сопротивление металлов уменьшается и при весьма низких (криогенных) температурах скачком приближается к абсолютному нулю.

В 1911 г. при охлаждении кольца из замороженной ртути до температуры 4,2 К голландский ученый Г. Каммерлинг-Оннес обнаружил, что электрическое сопротивление ρ кольца внезапно падает до очень малого значения, которое невозможно измерить. Такое исчезновение электрического сопротивления, т. е. появление бесконечной удельной проводимости у материала, было названо *сверхпроводимостью*. Материалы, обладающие способностью переходить в сверхпроводящее состояние при их охлаждении до достаточно низкой температуры, стали называть *сверхпроводниками*. Критическая температура охлаждения, при которой происходит переход вещества в сверхпроводящее состояние, называют *критической температурой перехода* $T_{кр}$. Переход в сверхпроводящее состояние является обратимым. При повышении температуры материал возвращается в нормальное состояние.

Особенность сверхпроводников состоит в том, что однажды наведенный в сверхпроводящем контуре электрический ток будет длительно (годами) циркулировать по этому контуру без заметного уменьшения своей силы и притом без всякого дополнительного подвода энергии извне. Подобно постоянному магниту такой контур создает в окружающем пространстве магнитное поле.

В 1933 г. немецкие физики В.Майснер и Р.Оксенфельд обнаружили, что сверхпроводники при переходе в сверхпроводящее состояние становятся *идеальными диамагнетиками*. Поэтому внешнее магнитное поле не проникает в сверхпроводящее тело. Если переход материала в сверхпроводящее состояние происходит в магнитном поле, то поле «выталкивается» из сверхпроводника (рисунок 2.1).

Известные сверхпроводники имеют весьма низкие критические температуры перехода $T_{кр}$. Поэтому устройства, в которых используются сверхпроводники, должны работать в условиях охлаждения жидким гелием (температура сжижения гелия при нормальном давлении примерно 4,2 К). Это усложняет и удорожает производство и эксплуатацию сверхпроводниковых материалов.

Кроме ртути сверхпроводимость присуща и другим чистым металлам (химическим элементам) и различным сплавам и химическим соединениям. Однако такие металлы, как серебро и медь, при самых низких температурах, достигнутых в настоящее время, перевести в сверхпроводящее состояние не удалось.

Возможности использования явления сверхпроводимости определяются значениями температуры перехода в сверхпроводящее состояние $T_{кр}$ и критической напряженности магнитного поля $H_{кр}$.

Сверхпроводниковые материалы подразделяют на мягкие и твердые. К *мягким сверхпроводникам* относят чистые металлы, за исключением ниобия, ванадия, теллура.

Основным недостатком мягких сверхпроводников является низкое значение критической напряженности магнитного поля $H_{кр}$.

В радиотехнике мягкие сверхпроводники не применяются, поскольку сверхпроводящее состояние в этих материалах исчезает уже в слабых магнитных полях при небольших плотностях тока.

К твердым сверхпроводникам относят сплавы с искаженными кристаллическими решетками. Они сохраняют сверхпроводимость даже при относительно больших плотностях тока и сильных магнитных полях. Свойства твердых сверхпроводников были открыты в середине прошлого столетия и до настоящего времени проблема их исследования и применения является одной из важнейших проблем науки и техники.

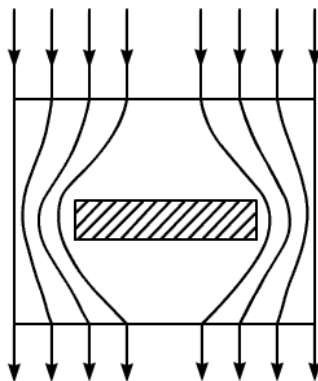


Рисунок 2.1– Магнитное поле с введенным в него сверхпроводником
Твердые сверхпроводники обладают рядом особенностей:

- при охлаждении переход в сверхпроводящее состояние происходит не резко, как у мягких сверхпроводников, а на протяжении некоторого температурного интервала;
- некоторые из твердых сверхпроводников имеют не только сравнительно высокие значения критической температуры перехода $T_{кр}$, но и относительно высокие значения критической магнитной индукции $B_{кр}$;
- при изменении магнитной индукции могут наблюдаться промежуточные состояния между сверхпроводящим и нормальным;
- имеют тенденцию к рассеянию энергии при пропускании через них переменного тока;
- зависимость свойств сверхпроводимости от технологических режимов изготовления, чистоты материала и совершенства его кристаллической структуры.

По технологическим свойствам твердые сверхпроводники делят на следующие виды:

- сравнительно легко деформируемые, из которых можно изготавливать проволоку и ленты [ниобий, сплавы ниобий-титан (Nb–Ti), ванадий-галлий (V–Ga)];
- трудно поддающиеся деформации из-за хрупкости, из которых получают изделия методами порошковой металлургии (интерметаллические материалы типа станнида ниобия Nb_3Sn).

Часто сверхпроводниковые провода покрывают «стабилизирующей» оболочкой из меди или другого хорошо проводящего электрический ток и тепло металла, что дает возможность избежать повреждения основного материала сверхпроводника при случайном повышении температуры. В ряде случаев применяют композитные сверхпроводниковые провода, в которых большое число тонких нитевидных сверхпроводников заключено в массивную оболочку из меди или другого несверхпроводникового материала.

Сверхпроводники используют при создании: электрических машин и трансформаторов малых массы и размеров с высоким коэффициентом полезного действия; кабельных линий для передачи энергии большой мощности на большие

расстояния; волноводов с особо малым затуханием; накопителей энергии и устройств памяти; магнитных линз электронных микроскопов; катушек индуктивности с печатным монтажом. На основе пленочных сверхпроводников создан ряд запоминающих устройств и элементов автоматики и вычислительной техники. Обмотки электромагнитов из сверхпроводников позволяют получать максимально возможные значения напряженности магнитного поля.

2 Криопроводники

Некоторые металлы могут достигать при низких (криогенных) температурах весьма малого значения удельного электрического сопротивления ρ , которое в сотни и тысячи раз меньше, чем удельное электрическое сопротивление при нормальной температуре. Материалы, обладающие такими свойствами, называют *криопроводниками* (*гиперпроводниками*). Физически явление криопроводимости не сходно с явлением сверхпроводимости.

Плотность тока в криопроводниках при рабочих температурах в тысячи раз превышает плотность тока в них при нормальной температуре, что определяет их использование в высокоточных электротехнических устройствах, к которым предъявляются высокие требования по надежности и взрывобезопасности.

Применение криопроводников в электрических машинах, кабелях и т.п. имеет существенное преимущество по сравнению со сверхпроводниками. Если в сверхпроводниковых устройствах в качестве охлаждающего агента применяют жидкий гелий, работа криопроводников обеспечивается благодаря более высококипящим и дешевым хладагентам – жидкому водороду или даже жидкому азоту. Это упрощает и удешевляет производство и эксплуатацию устройства. Однако необходимо учитывать технические трудности, которые возникают при использовании жидкого водорода, образующего при определенном соотношении компонентов взрывоопасную смесь с воздухом.

В качестве криопроводников используют медь, алюминий, серебро, золото.

3 Неметаллические проводниковые материалы

Неметаллическими материалами, обладающими свойствами проводников и используемыми в качестве проводниковых материалов, являются природный графит, сажа, пиролизический углерод, бороуглеродистые пленки.

4 Материалы для электроугольных изделий

К электротехническим угольным изделиям (сокращенно электро-угольные изделия) относятся щетки электрических машин, электроды для прожекторов и электролитических ванн, аноды гальванических элементов, микрофоны, содержащие угольный порошок, угольные высокоомные резисторы, разрядники для телефонных сетей.

Исходным сырьем для производства электроугольных изделий являются графит, сажа и антрацит.

Природный графит – кристаллическое вещество, одна из форм углерода слоистой структуры (углерод известен в виде трех видоизменений: алмаза, графита и аморфного углерода - угля).

Графит образует слоистую кристаллическую решетку, каждый слой которой представляет собой шестиугольную сетку с расположенными в узлах атомами углерода.

Отдельные слои отстоят друг от друга на большее расстояние, чем атомы между собой внутри каждого слоя, поэтому графит легко отслаивается, что ценно для работы скользящих контактов. Это свойство используют также при изготовлении сухих смазочных материалов на основе графита. Его физические свойства в направлении слоистости и перпендикулярно к ней различны. Графит обладает следующими свойствами:

- в направлении слоев электропроводность графита имеет «металлический» характер ($\rho = 8 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, $\text{TK}\rho = 1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$);
- с увеличением температуры прочность графита повышается; на воздухе горит при температуре выше 600°C ; при нагревании до температуры 170°C с воздухом не взаимодействует;
- ни при каких температурах не взаимодействует с серной, соляной и плавиковой кислотами и царской водкой;
- с концентрированной азотной кислотой вступает в реакцию, а в смеси с концентрированными азотной и серной кислотами графит (1 г) растворяется и образует графитовую кислоту; с расплавленными щелочами не взаимодействует.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие материалы называют сверхпроводниками?
- 2 Какие параметры влияют на явления сверхпроводимости?
- 3 Какие материалы относятся к твердым сверхпроводникам?
- 4 Почему в радиотехнике не применяются мягкие сверхпроводники?
- 5 Какие металлы называют криопроводниками?
- 6 Назовите неметаллические проводниковые материалы.