

БУМ ВОКРУГ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Л. МАТВЕЕНКО, канд. физ.- мат. наук

Одно из наиболее важных и широко применяемых сверхпроводниковых устройств — сверхпроводящий квантовый интерференционный датчик (СКВИД), в основе работы которого лежат два физических явления: стационарный эффект Джозефсона и эффект квантования магнитного потока.

СКВИД, состоящий из двух переходов, включенных параллельно и работающих при постоянном токе смещения (см. рис. 4, б), называется СКВИД постоянного тока (ПТ СКВИД). В настоящее время в электронике получили наибольшее распространение ПТ СКВИДы, изготовленные по тонкопленочной технологии.

Схема СКВИДа представляет собой замкнутый контур из сверхпроводника с четырьмя выводами, служащими для подачи тока и снятия напряжения, в который включены, как показано на рис. 5, два джозефсоновских перехода.

Характерная особенность СКВИДа состоит в том, что при изменении магнитного потока, пронизывающего контур, напряжение на выходе этого устройства периодически изменяется, причем период равен кванту Φ_0 магнитного потока. Эта зависимость позволяет создавать на основе СКВИДов чувствительнейшие измерители вариаций магнитного поля. С их помощью можно измерять практически любые физические величины, преобразуемые в магнитный поток, такие как напряженность магнитного поля, градиент напряженности, электрический ток и напряжение, магнитная восприимчивость и смещение. Этим и объясняется, что активные сверхпроводящие элементы, джозефсоновские переходы и СКВИДы, создаваемые на базе НТСП и ВТСП, все ускоряющимися темпами внедряются в современную радиоэлектронику.

На основе низкотемпературных (гелиевых) СКВИДов созданы чувствительнейшие вольтметры и усилители, шумы которых приближаются к квантовому пределу. Сверхчувствительные магнитометры, измеряющие вариации магнитных полей с разрешением до 10^{-15} Тл — это уже промышленная продукция, находящая широкое применение в измерительной технике. Например, они позволяют производить измерения очень малой магнитной восприимчивости незначительных количеств вещества. С помощью устройств на СКВИДах удалось измерить предельно малую восприимчивость белков. Эти приборы использовались для измерения магнитного момента образцов лунного грунта.

Другая важная область применения СКВИДов — геофизика. Здесь они используются, например, при магнитотеллурическом зондировании, при изучении палеомагнетизма и магнитных свойств горных пород. Они весьма перспективны при разведке нефтяных и геотермальных источников, изучении сейсмической активности.

Остановимся немного подробнее на двух, имеющих общие черты областях применения СКВИД-магнитометров. Это бесконтактное диагностирование человека и неживых объектов. СКВИД, как внешний зонд, может быть расположен вблизи исследуемого объекта, никоим образом не воздействуя на него и не нарушая его целостности. Для измерения магнитных полей человека или при биомангнитных исследованиях уже создаются многоканальные системы на основе охлаждаемых гелием СКВИДов. Они применяются во многих клиниках мира для наблюдения и анализа магнитных полей, обусловленных сердечной деятельностью (рис. 6) (магнитокардиограмма — МКГ), деятельности мышц (магнитомиограмма — ММГ), мозговой деятельностью (магнитоэнцефалограмма — МЭГ). Размещая СКВИД-датчики вблизи брюшной полости роженницы, возможно следить за сердцебиением плода.

Для исследования деятельности мозга человека в Финляндии разработаны «шлемы», содержащие свыше 120 СКВИД-датчиков. В Японии прошла испытания 256-канальная система.

И это — на низкотемпературных, охлаждаемых жидким гелием СКВИДах! При создании таких систем, кроме стандартных требований к этим приборам — низкого уровня шума, высокой скорости слежения, долговременной стабильности и т. п., — одновременно решаются проблемы миниатюризации цепей и охлаждающих устройств, создание малогабаритной и дешевой электроники, уменьшение взаимного влияния каналов и многое другое.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников и прогресс в технологии создания малозумящих СКВИДов, приближающихся по своим характеристикам к низкотемпературным, но работающих при азотном охлаждении, во многом упростили проблему их внедрения в аппаратуру телекоммуникационных комплексов. Весьма важно то, что теперь произошло перекрытие диапазонов рабочих температур сверхпроводниковых и полупроводниковых устройств. В результате возникла возможность разработки гибридных устройств, открывающая принципиально новые перспективы в системах связи. Уже в приемниках станций сотовой и персональной связи, работающих на частотах от 800 МГц до 2 ГГц, используются супер-узкополосные сверхпроводящие фильтры из высокотемпературных сверхпроводящих пленок. Разработаны и проходят испытания резонаторы, мультиплексоры, линии задержки и прочие пассивные элементы радиоэлектроники. Их достоинствами, по сравнению

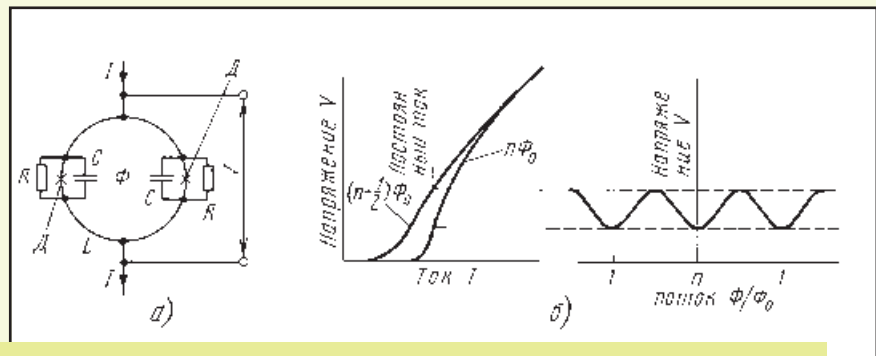


Рис. 5. Электрическая схема и вольт-амперные характеристики ПТ СКВИДа: а — электрическая схема со средним током I и потоком Φ (C — собственная емкость, R — внешнее сопротивление, L — индуктивность петли, D — джозефсоновские контакты); б — зависимость напряжения от магнитного потока Φ/Φ_0

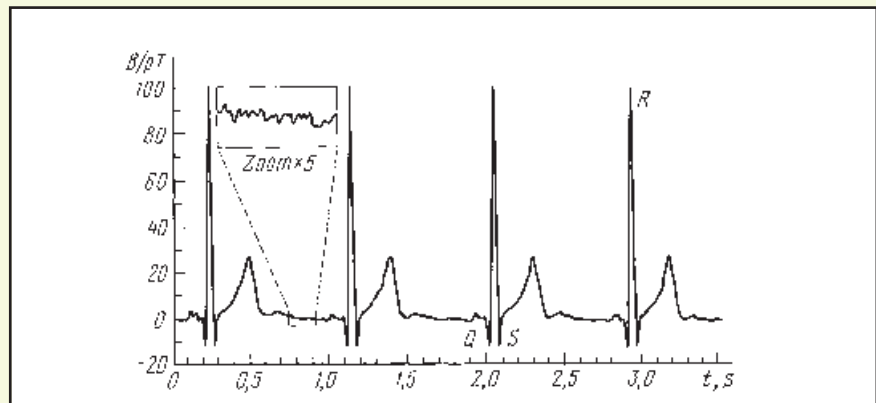


Рис. 6. Магнитокардиограммы работы сердца человека, полученная с помощью СКВИД- магнитометра (рабочая температура 77 К)

Окончание. Начало см. в "Радио", 1998, № 10