

Макс. размах осцилляций $V(\Phi)$ наблюдается при оптимальном значении параметра $LI_c/\Phi_0 = 1$, где L — индуктивность кольца. Коэф. преобразования для оптимизированных ПТ-С. равен

$$dV/d\Phi_x \approx R/2L,$$

где R — сопротивление шунтированных КД. Шунтирование туннельных КД применяется для создания безгистерезисной вольтамперной характеристики контакта. Современные тонкопленочные планарные ПТ-С., изготовленные методами фото- и электронной литографии, имеют коэф. преобразования до $1 \text{ мВ}/\Phi_0$.

Усиление и регистрация сигнала С. производятся электронными устройствами, находящимися при комнатной темп-ре. Для ослабления влияния НЧ-шумов вида $1/f$ (см. *Флуктуации электрические*) используется модуляц. метод обработки сигнала С.: в отд. катушку модуляции (L_m на рис. 1) вводится перем. ток частотой $100\text{--}200 \text{ кГц}$, создающий через кольцо С. поток с амплитудой $\sim \Phi_0/4$. Перем. напряжение на С. усиливается, синхронно детектируется и фильтруется. Согласование низкого импеданса С. с высоким импедансом усилителя осуществляется согласующим устройством типа последоват. контура или резонансного трансформатора. Для измерений в большом диапазоне $\Delta \Phi_x > \Phi_0$ используется глубокая отрицат. обратная связь по магн. потоку. Напряжение через сопротивление обратной связи R_{oc} подаётся в катушку модуляции. В результате измеряемый поток компенсируется, а напряжение на резисторе R_{oc} служит выходным сигналом прибора, линейно связанным с измеряемым потоком в диапазоне $\pm 100\text{--}1000 \Phi_0$.

Блок-схема типичного ВЧ-С., работающего на фиксиров. частоте радиочастотного диапазона $10\text{--}400 \text{ МГц}$, приведена на рис. 2. С кольцом С. связана катушка резонансного колебат. контура $L_k C_k$, возбуждаемого генератором тока ВЧ. Резонансный контур согласует низкий импеданс С. с высоким входным сопротивлением усилителя ВЧ. В зависимости от параметра

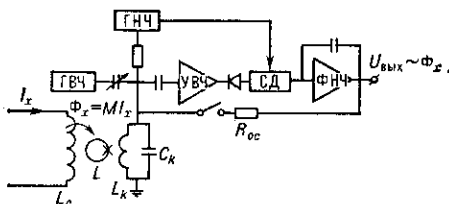


Рис. 2. Схема ВЧ-сквида: ГВЧ — генератор высокой частоты; УВЧ — усилитель высокой частоты; ГНЧ — генератор модуляции низкой частоты; СД — синхронный детектор, ФНЧ — фильтр низких частот.

$l = 2\pi LI_c/\Phi_0$ различают безгистерезисный ($l < 1$) и гистерезисный ($l > 1$) режимы работы ВЧ-С. В первом случае кольцо С. представляет собой параметрич. индуктивность, осциллирующую с изменением внеш. потока Φ_x . Изменение индуктивности регистрируется по сдвигу резонансной частоты контура $L_k C_k$. Безгистерезисный режим работы ВЧ-С. редко используется в практич. устройствах из-за жёстких ограничений на параметры С., стабильность амплитуды и частоты сигнала ВЧ-накачки.

Если $l > 1$, воздействие магн. потока накачки с амплитудой, достаточной для возбуждения в кольце с КД тока $I_{вч} > I_c$, приводит к характерным гистерезисным потерям энергии в колебат. контуре, уровень к-рых осциллирует в зависимости от внеш. потока Φ_x с периодом Φ_0 . Соответствующее изменение добротности контура Q регистрируется по изменению напряжения $V_{вч}(\Phi_x)$ на нём. Коэф. преобразования магн. потока в напряжение для ВЧ-С. в гистерезисном режиме равен:

$$dV_{вч}/d\Phi_x = (\omega/k)(L_k/L)^{1/2},$$

где ω — частота накачки, k — коэф. связи контура со С. (оптимален k , для к-рого $k^2 Q \geq 1$). Для ВЧ-С. типичны значения коэф. преобразования $20\text{--}50 \text{ мкВ}/\Phi_0$.

Для увеличения отношения сигнал/шум и линеаризации коэф. передачи прибора в схемах ВЧ-С. также применяется дополнит. НЧ-модуляция на частотах $10\text{--}50 \text{ кГц}$ и отрицательная обратная связь по магн. потоку.

Обычно измеряемый магн. поток через кольцо С. создаётся током I_x во входной или сигнальной катушке с индуктивностью $L_c \approx 1\text{--}10 \text{ мкГн}$ [$\Phi_x = MI_x$, где $M = k_c(L_c L)^{1/2}$ — взаимная индуктивность сигнальной катушки и кольца С., а k_c — коэф. связи].

Предельная чувствительность С. разл. типа характеризуется т. н. энергетич. чувствительностью:

$$\varepsilon = (L_c I_n^2) / 2 = \Phi_n^2 / 2Lk_c^2 \text{ (Дж/Гц)},$$

выраженной через спектральную плотность мощности эквивалентного шумового потока Φ_n^2 или шумового тока I_n^2 . Эта величина имеет размерность действия, поэтому иногда её выражают в единицах $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/Гц}$.

Энергетич. чувствительность типичных ПТ-С. с $L \sim 10^{-11} \text{ Гн}$ ограничена тепловым шумом резисторов, шунтирующих КД, и равна $10^{-30}\text{--}10^{-31} \text{ Дж/Гц}$. Для ряда ПТ-С., охлаждённых до $T < 1 \text{ К}$, достигнуты рекордные значения $\varepsilon \sim \hbar$ при измерениях малых переменных $\Phi_x \sim 0,01 \Phi_0$ на частотах $100\text{--}200 \text{ кГц}$, где не сказывается шум вида $1/f$.

Минимальный детектируемый сигнал ВЧ-С. определяется суммарными шумами усилителя ВЧ, контура и самого С. В оптимизиров. конструкциях при частоте накачки $20\text{--}30 \text{ МГц}$ шумы характеризуются энергетич. чувствительностью $\varepsilon \sim \hbar$ Дж/Гц. Поскольку коэф. преобразования ВЧ-С. растёт с частотой, а собств. шумы падают, выигрыш в чувствительности можно получить, повышая частоту до СВЧ-диапазона (напр., при $f = 10 \text{ ГГц}$ получено $\varepsilon = 10^{-30} \text{ Дж/Гц}$). Однако это приводит к существ. усложнению конструкции прибора.

В магн. поток, измеряемый С., легко преобразовать многие магн. и электрич. величины: магн. поле и его градиенты, магн. момент, ток, напряжение и др. Обычно это преобразование осуществляется с помощью сверхпроводящего трансформатора магн. потока: сигнальная катушка С. образует замкнутый сверхпроводящий контур с приёмной катушкой, непосредственно воспринимающей изменение магн. потока. В силу сохранения потока в этой цепи экранирующий ток «переносит» часть измеряемого потока в сигнальную катушку, связанную с кольцом С.

Чувствительность сверхпроводящих С.-магнитометров достигает $5 \div 10 \cdot 10^{-16} \text{ Тл/Гц}^{1/2}$, и определяется уже магн. шумом в тщательно экранированных помещениях. По чувствительности С.-магнитометры превосходят традиц. магнитометры на 2–3 порядка. С.-магнитометры применяются, напр., для измерения магнитных полей биологических объектов [8], магнитометрич. исследований в геофизике и геологии [9], измерения магн. восприимчивости веществ и материалов.

Применение С. для измерений электрич. величин позволяет достичь пороговой чувствительности по току $10^{-12}\text{--}10^{-14} \text{ А/Гц}^{1/2}$ при нулевом сопротивлении сигнальной катушки. По напряжению чувствительность ограничена тепловым шумом низкоомных ($10^{-4}\text{--}10^{-8} \text{ Ом}$) источников сигнала и составляет при низких темп-рах $10^{-13}\text{--}10^{-15} \text{ В/Гц}^{1/2}$. С.-гальванометры и С.-вольтметры служат для измерения проводимости и термоэлектрич. эффектов в нормальных и сверхпроводящих металлах. В метрологии С.-гальванометры служат в качестве нуль-индикаторов в эталонных установках, к-рые воспроизводят единицу эдс (Вольт) на основе эффекта Джозеф-