

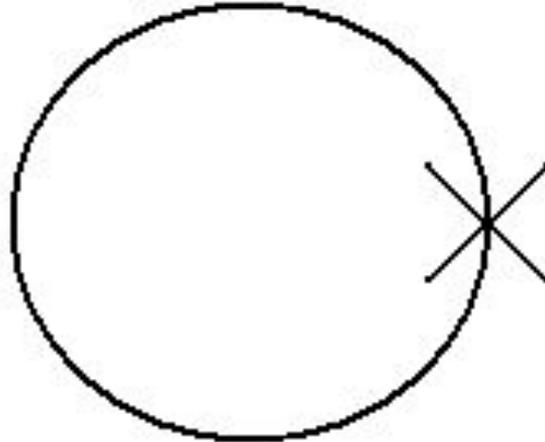
Лекции 13,14

Явления в
сверхпроводящем
кольце,
содержащем один
Джозефсоновский
переход.
ВЧ-СКВИД



Вводные замечания

Сверхпроводящее кольцо, в котором одна слабая связь.
Обозначение:



2. Это главный элемент **одноконтактного** (или **ВЧ**) **СКВИДа**.
3. На таком кольце не возникает постоянного напряжения V , т.к. слабая связь всегда закорочена кольцом.
4. Но такое кольцо реагирует на переменный внешний сигнал



Напряжение на слабой СВЯЗИ

Напряжение (естественно, переменное) на слабой связи может появиться лишь при изменении магнитного потока через кольцо:

$$V = \frac{1}{c} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (12.1)$$

Но если на слабой связи есть напряжение, значит через нее течет ток.
И выполнено Джозефсоновское соотношение

$$V = \frac{\hbar}{2e} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad (12.2)$$

$$V = \frac{\Phi_0}{2\pi c} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad (12.3)$$

Напряжение на слабой СВЯЗИ

Приравнивая (12.1) и (12.3) и интегрируя по времени, получим

$$\varphi = 2\pi \frac{\Phi}{\Phi_0} (+2\pi n). \quad (12.4)$$

Еще раз напомним, что здесь Φ – **полный поток через кольцо.**

Из (12.4) видно, что, например, при $\Phi = \Phi_0/4$ величина $\varphi = \pi/2$ и ток через переход

$$j = j_c \sin \varphi = j_c$$



Полный поток, охваченный кольцом одноконтактного интерферометра

При изменении внешнего потока Φ_e возникает экранирующий ток в кольце I_\varnothing . Поэтому при $L \neq 0$ имеется поток LI_\varnothing ($c=1$), возникающий из-за индуктивности кольца.

$$\Phi = \Phi_e - LI_\varnothing \quad (12.5)$$

$\Phi_e = BS$, B -индукция (внешняя) поля, S -площадь кольца.

Например, $\Phi = 0$ может быть при $\Phi_e \neq 0$ (эффект Мейснера-Оксенфельда)

Но этот ток I_\varnothing проходит и через слабую связь. А мы знаем, что тогда он состоит из следующих компонент:

$$I_\varnothing = I_c \sin\phi + V/R + CdV/dt + I_f \quad (12.6)$$

Полный поток, охваченный кольцом одноконтактного интерферометра

Подставим I_3 в (12.5) и учтем (12.4). Получим

$$\left[\Phi_e = \Phi + LI_c \sin\left(2\pi \frac{\Phi}{\Phi_0}\right) + \right. \quad (12.7)$$
$$\left. + \frac{L}{R} \frac{d\Phi}{dt} + LC \frac{d^2\Phi}{dt^2} + \Phi_{ш} \right]$$

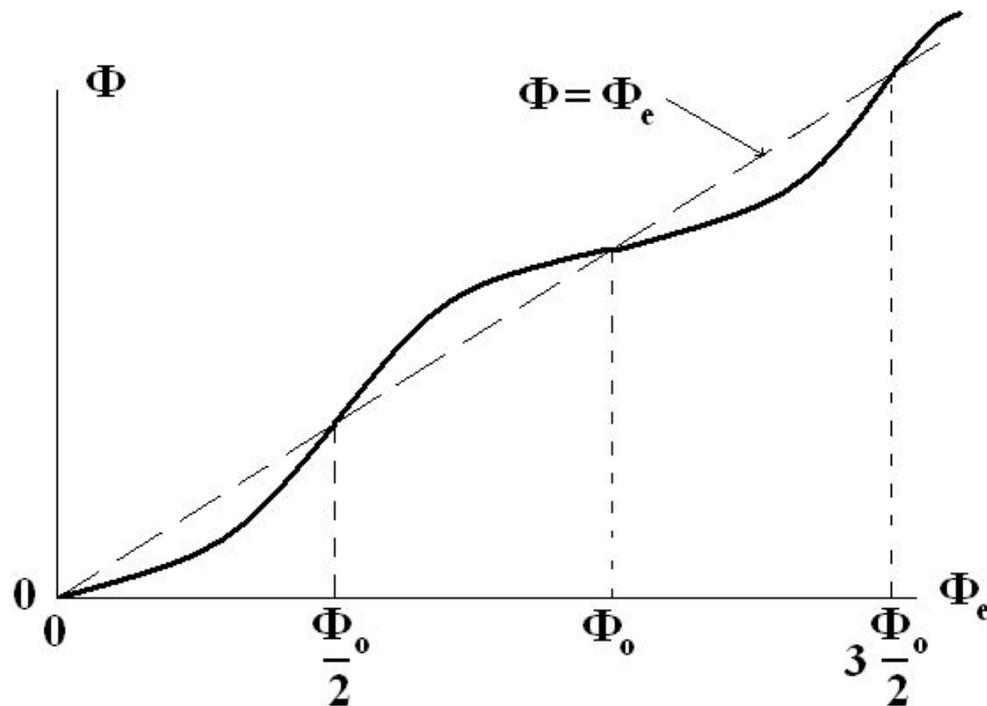
Здесь $\Phi_{ш} = LI_f$ – шумовой поток, L – индуктивность кольца, C – емкость перехода,

R – сопротивление перехода в N-состоянии.

В квазистатическом приближении $d\Phi/dt = d^2\Phi/dt^2 = 0$. И считаем $\Phi_{ш} = 0$. Тогда и остается (12.7) без дополнительных членов

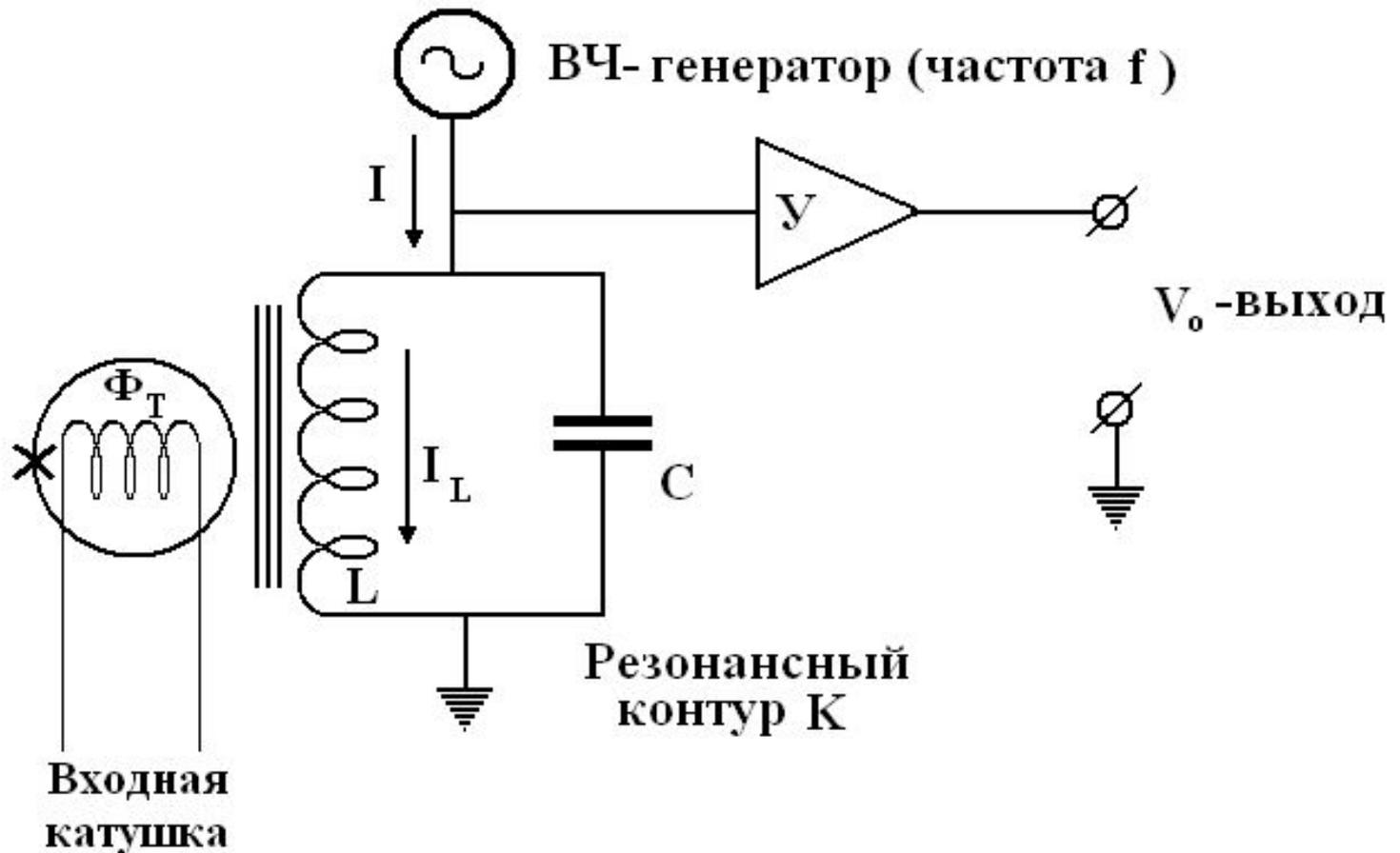
Полный поток, охваченный кольцом одноконтактного интерферометра

При малых $L \cdot I_c$ ($< \Phi_0/2$) зависимость $\Phi(\Phi_e)$ будет иметь вид



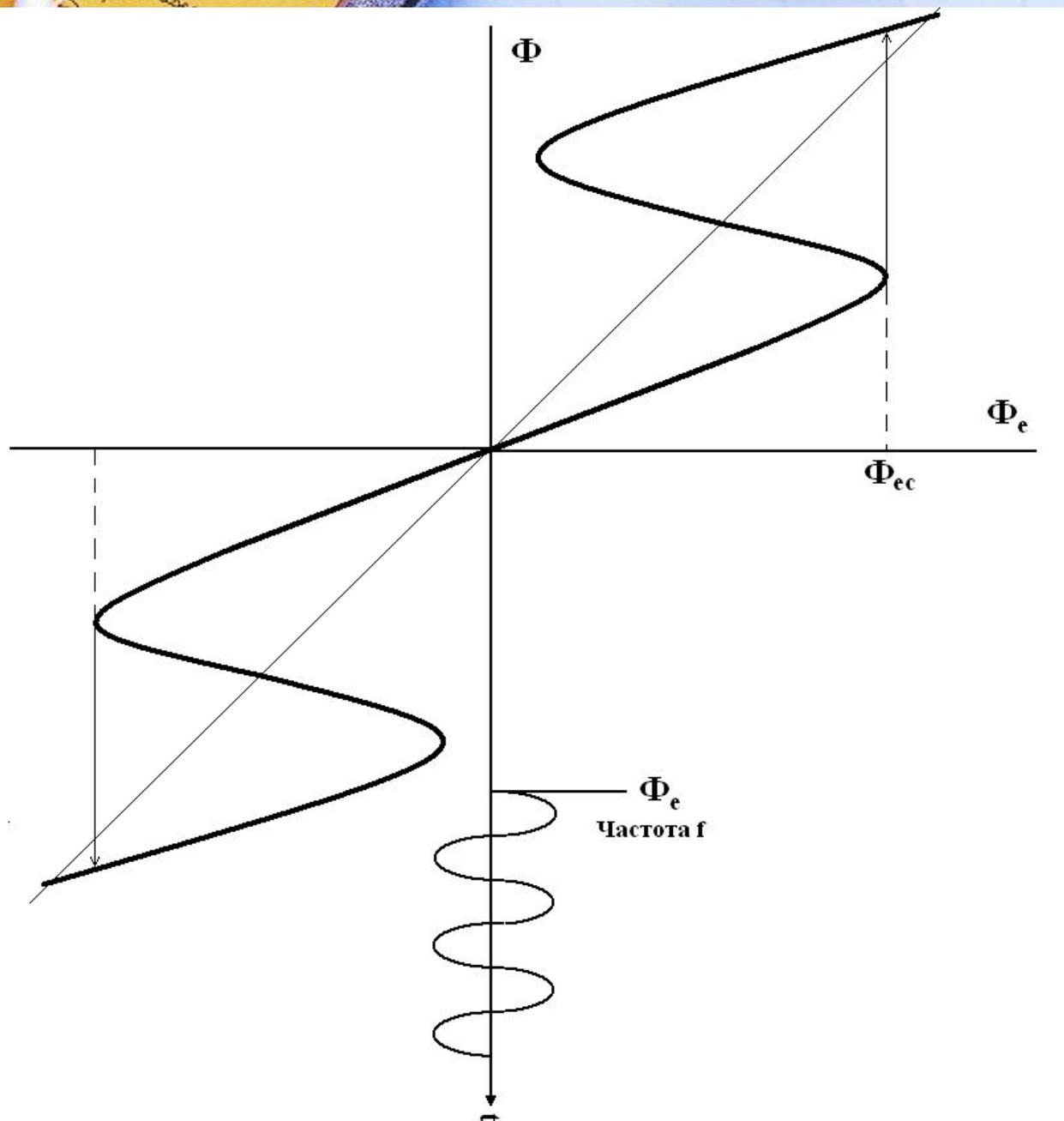
Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Схема



ОСНОВНО

Пусть тог



ИСНОВО)



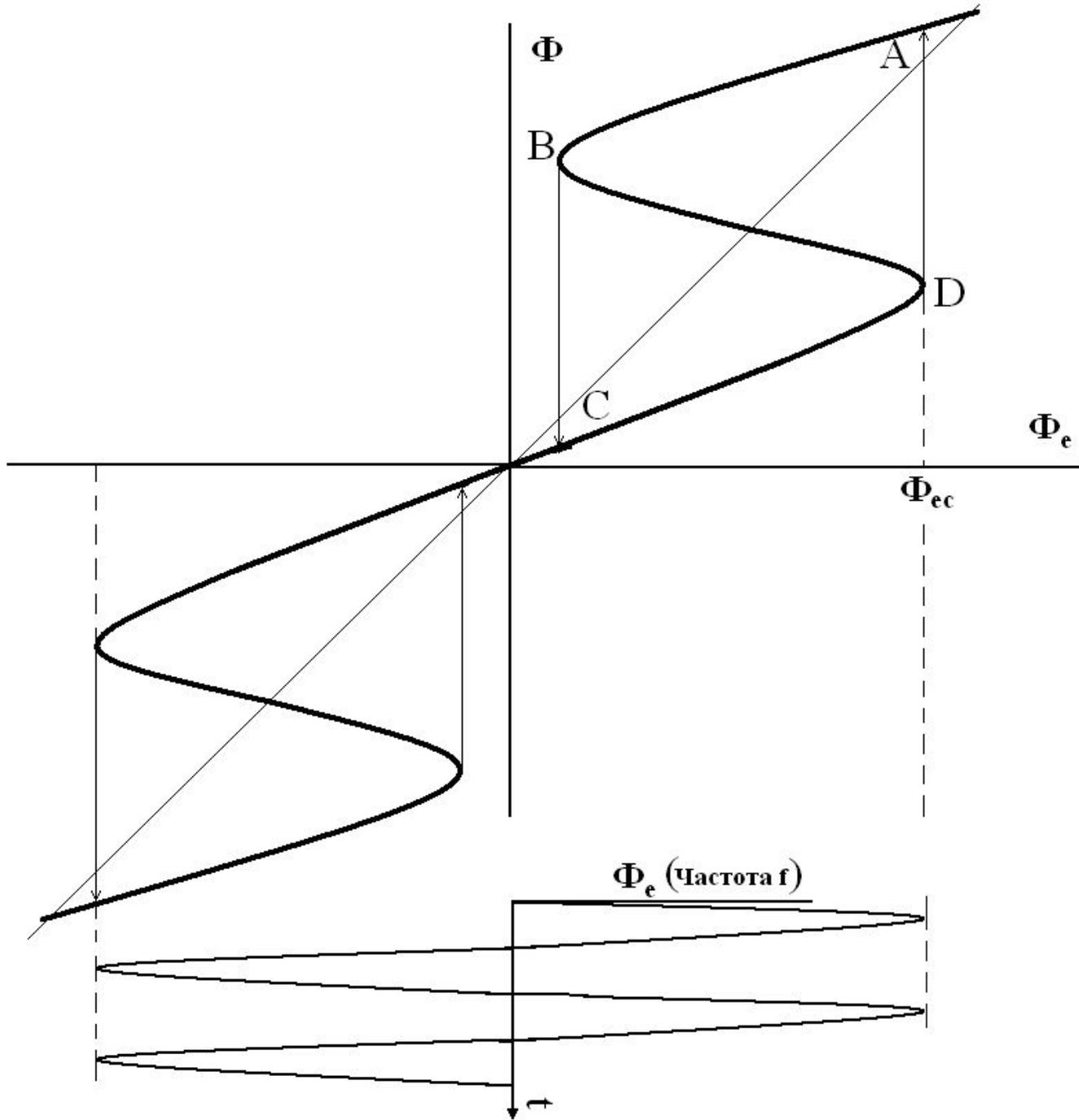
Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Увеличим ток I контура K , пропорционально увеличится и амплитуда Φ_e и соответственно Φ и V_o . Т.е. мы имеем примерно линейную зависимость сигнала V_o от I .

Но так будет только до тех пор, пока увеличение тока I не приведет тому, что поток Φ_e достигнет критической величины потока Φ_{ec} . При этом:

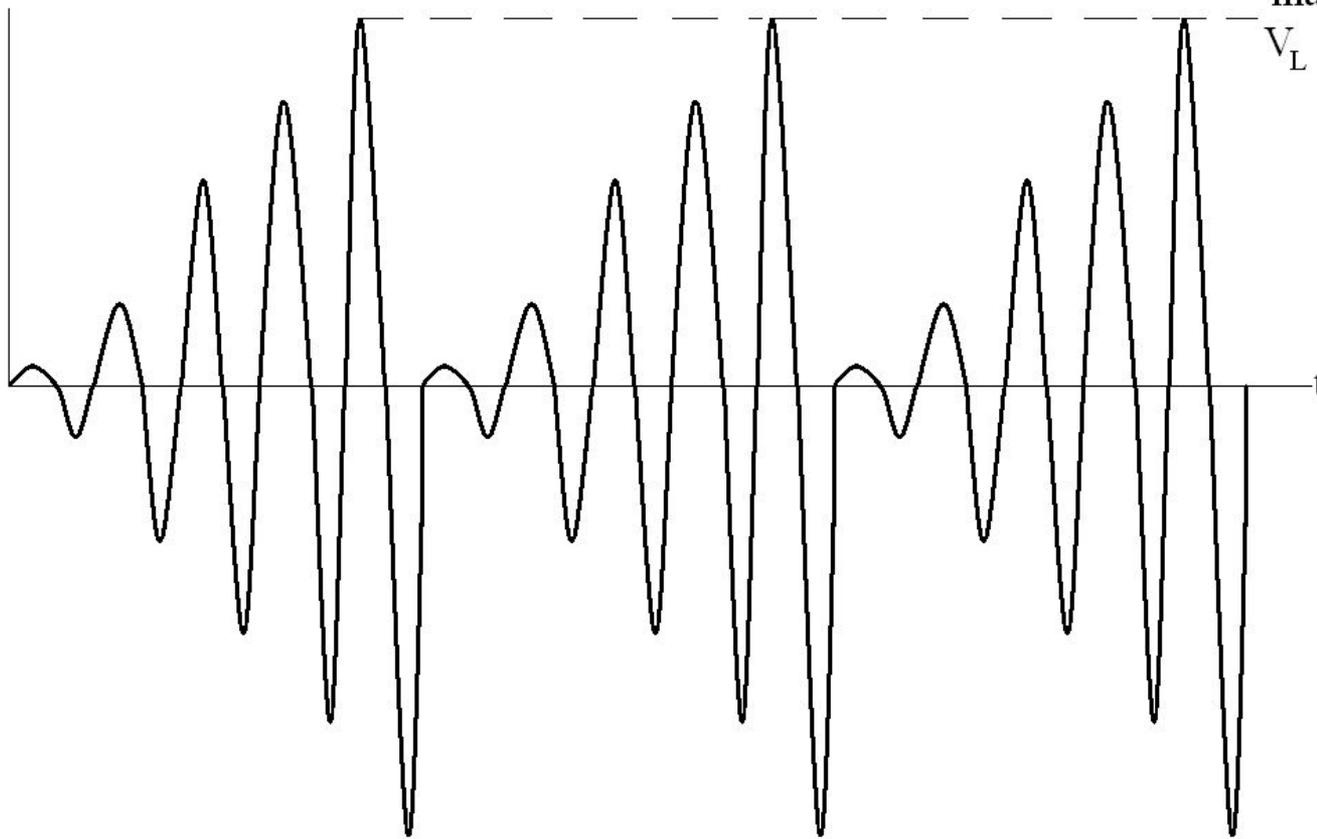
$$I_L = \Phi_{ec} / M, \quad I = \Phi_{ec} / MQ$$

, где M -коэффициент взаимной индукции, Q -добротность контура. В этот момент произойдет скачок полного потока. На графике $\Phi(\Phi_e)$ изображающая точка описет петлю гистерезиса, выделится тепло, пропорциональное площади петли



Принцип работы ВЧ-СКВИДа

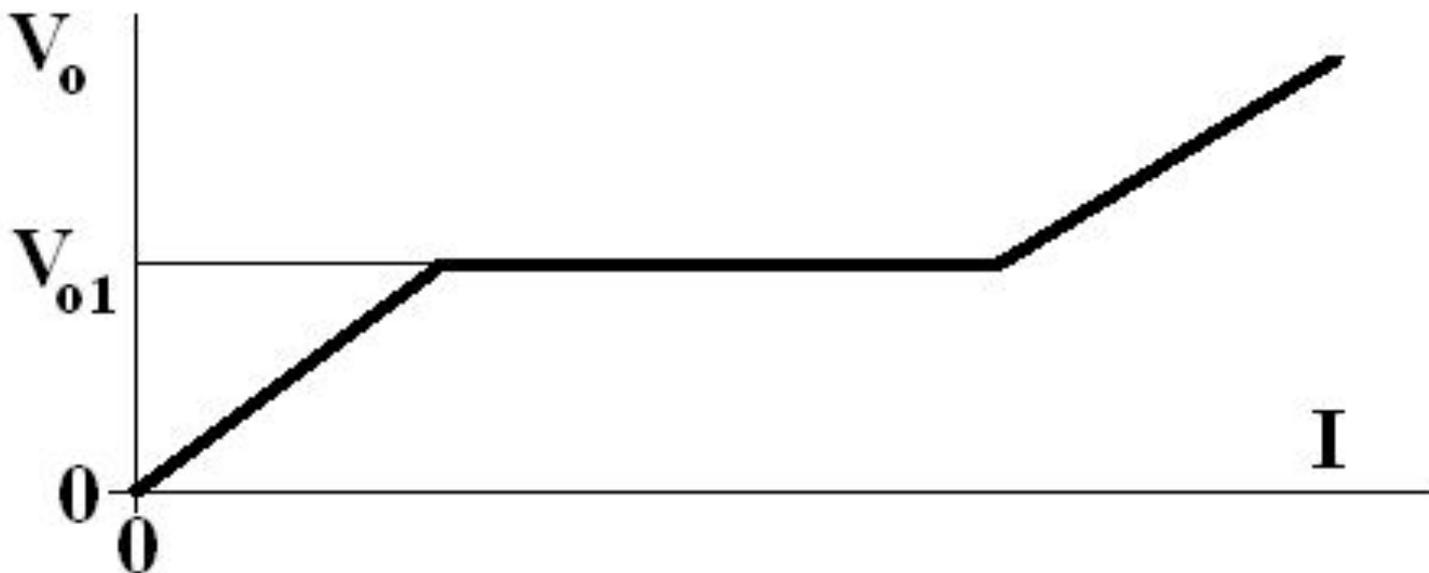
Для ε
К. Это
Контур
не до
значе



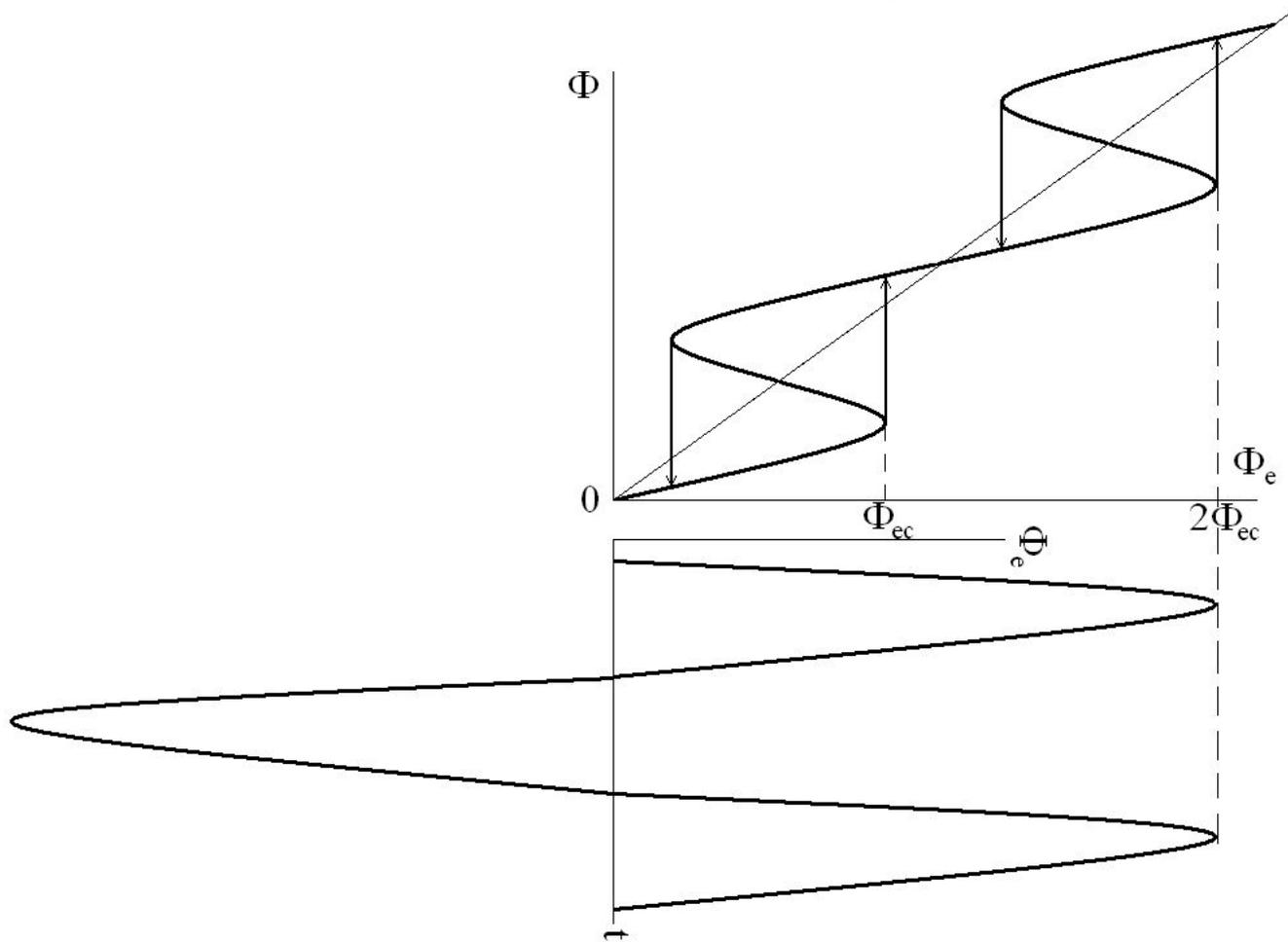
max контура
 V_L, I_L (потерь).
 Φ_e уже
го

Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Если мы будем увеличивать ток от ВЧ-генератора, эти скачки будут только чаще (быстрее будет копиться энергия), но $V_o = V_{o1} = \text{Const}$ с ростом тока I . До каких пор? Пока энергия не будет успевать накапливаться за один период. После этого начнется дальнейший рост V_o от I



Принцип работы ВЧ-СКВИДа

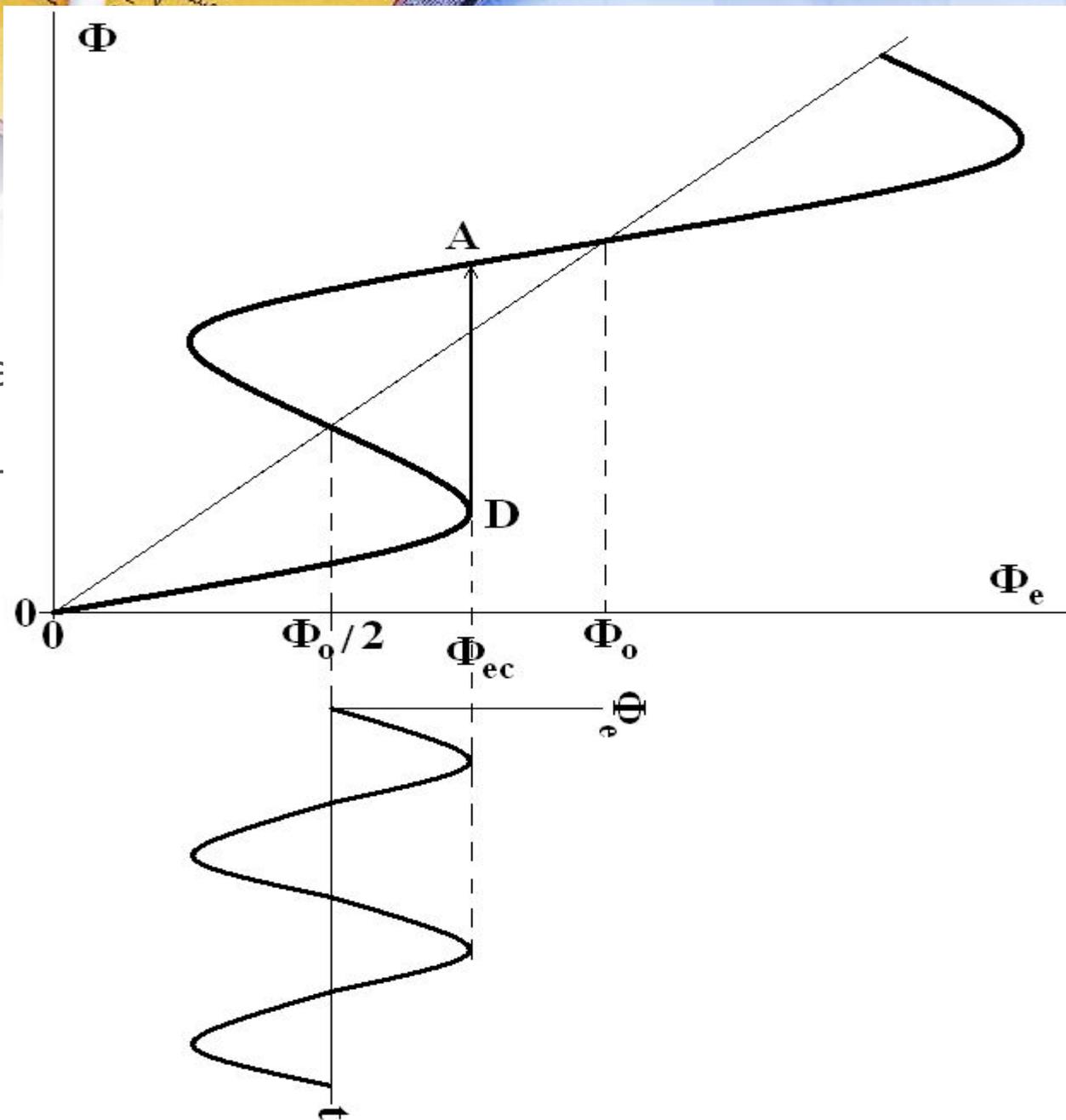


Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Опять остановка в росте V_0 и т.д. Т.е. вид ВАХ (ВАХ СКВИДа и есть эта зависимость V_0 от тока генератора I):



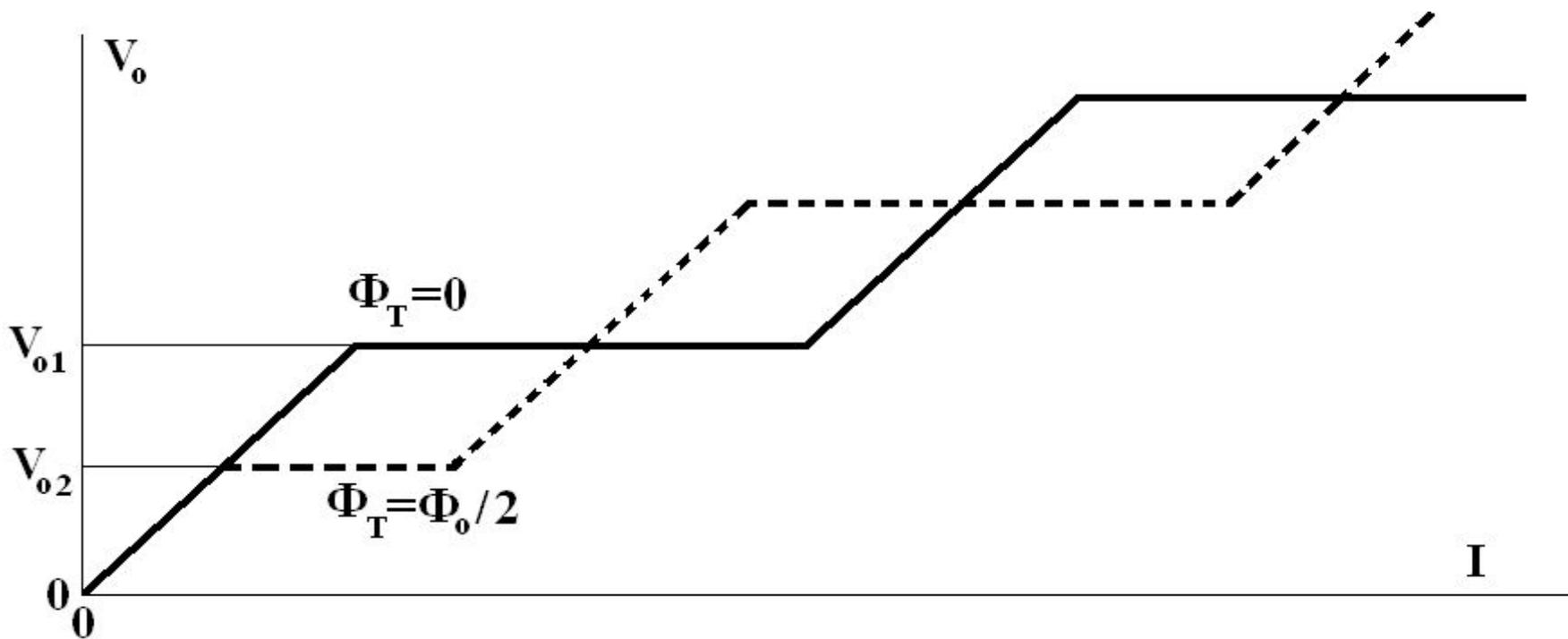
Дадим те
 $\Phi_T = \Phi_0/2$.
 $\Phi_0/2)/M$, -



0. Сделаем
и $I_L = (\Phi_{esc} -$

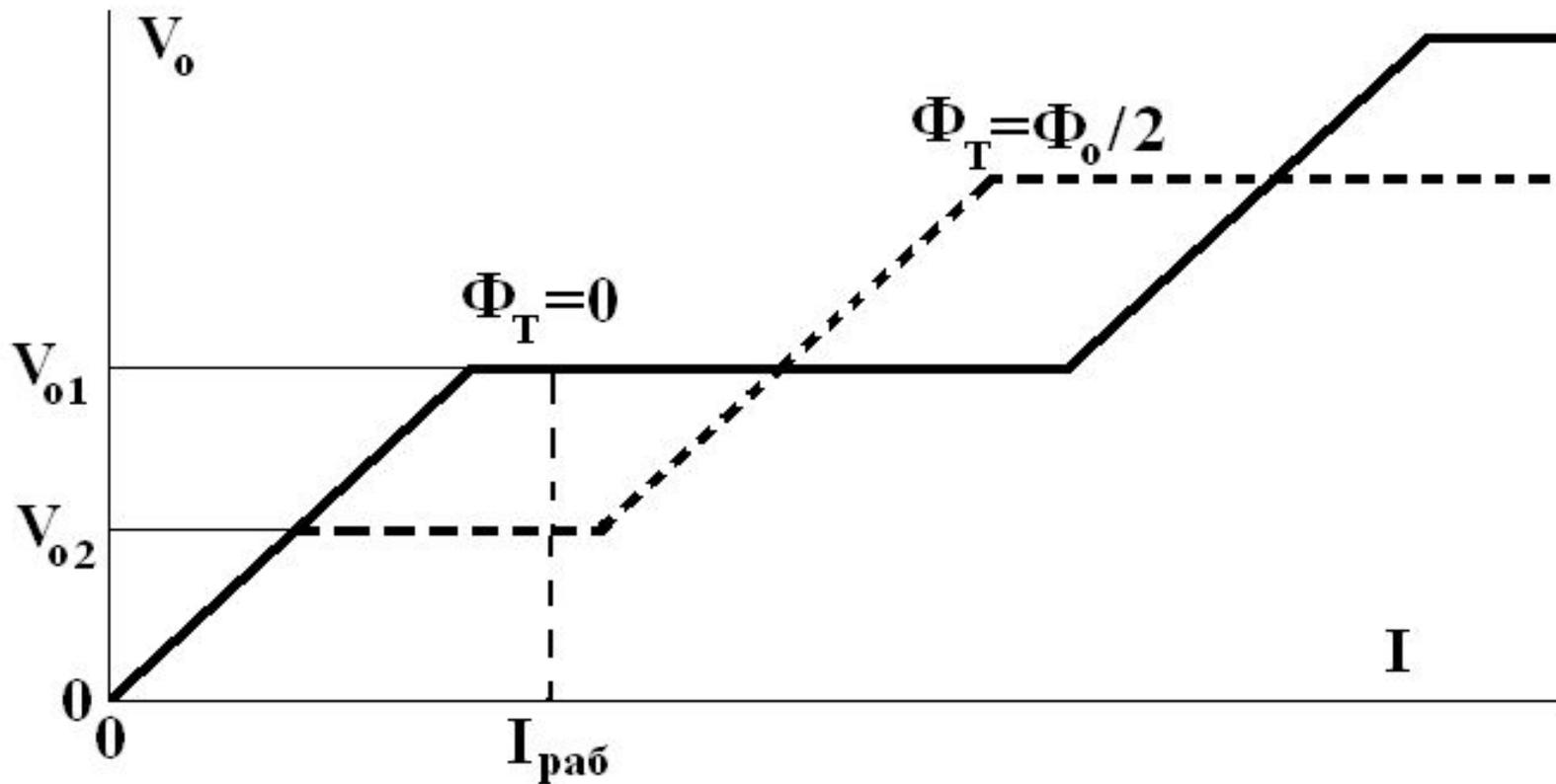
Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Вид ВАХ



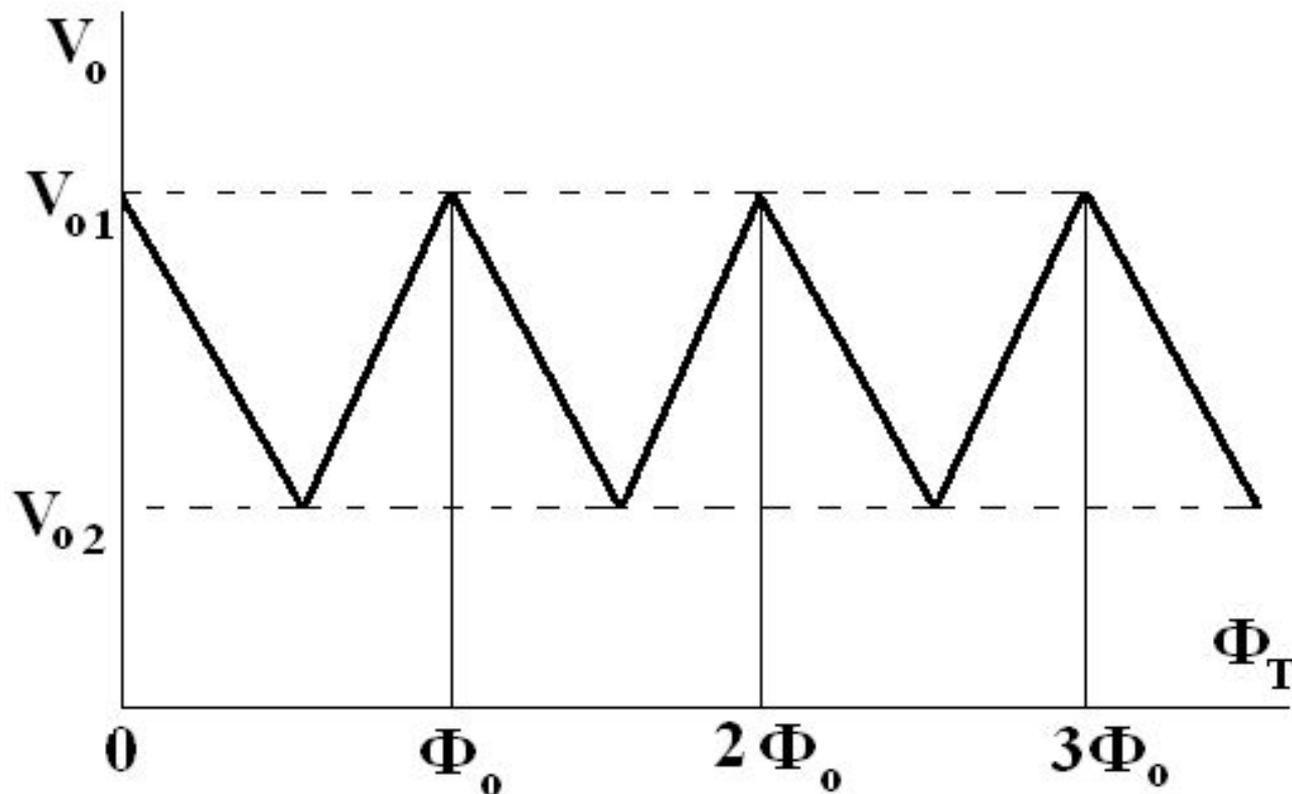
Принцип работы ВЧ-СКВИДа

Дадим некоторый рабочий ВЧ ток накачки $I_{\text{раб}}$



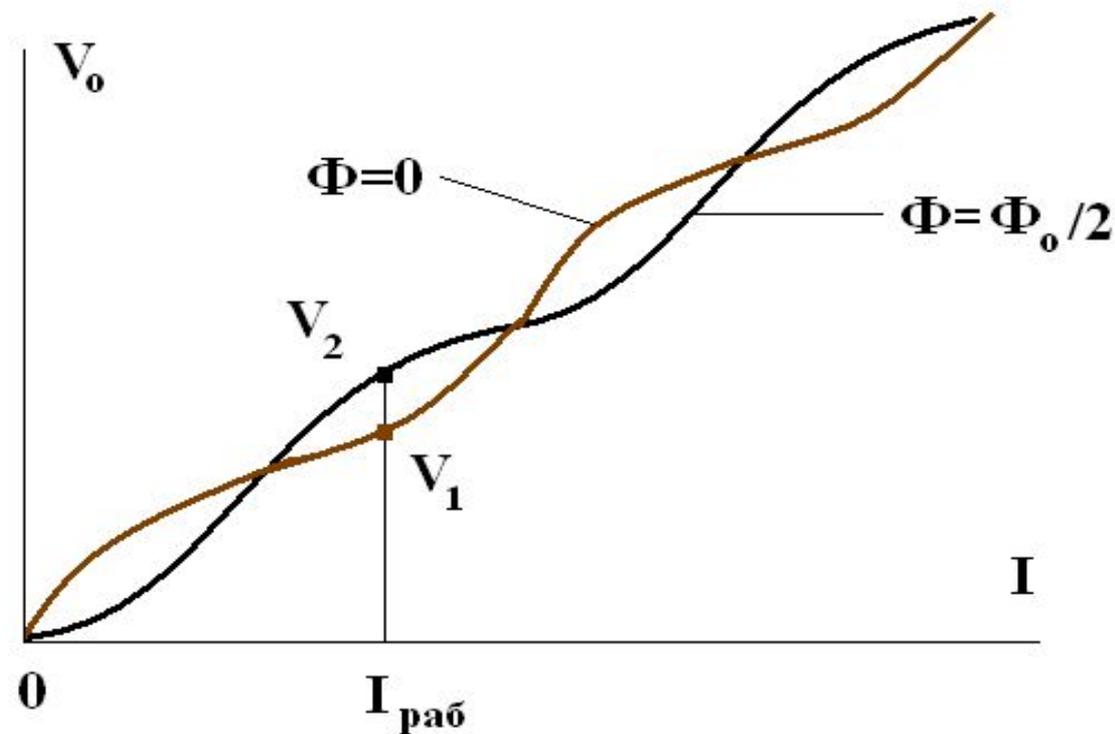
Принцип работы ВЧ-СКВИДа

«Треугольная» зависимость выходного напряжения V_o колебательного контура от входного потока Φ_T СКВИДа



ВЧ-СКВИД в безгистерезисном режиме

Идея: вид $V_o(I)$ отличается от рассмотренного для гистерезисного СКВИДа. Показано, что:



ВЧ-СКВИД в безгистерезисном режиме

Если Φ меняется от 0 до $\Phi_0/2$, то V меняется от V_1 до V_2 . Т.е. сигнальная характеристика будет:

