

Ваттметр

Условие

Задание 2. «Ваттметр»

Существует множество хитроумных устройств, измеряющих мощность в цепи постоянного тока. Принцип их работы сводится к тому, чтобы каким-либо способом перемножить ток и напряжение на нагрузке. Мы предлагаем Вам рассмотреть наиболее простую схему такого устройства, состоящую из резисторов, вольтметра и двух диодов.

2.1. Сначала разберемся с диодом. Этот полупроводниковый прибор является нелинейным элементом, т.е. сила тока не пропорциональна напряжению. В данной задаче диоды будут включаться в прямом направлении. В этом случае можно считать, что сила тока пропорциональна квадрату напряжения:

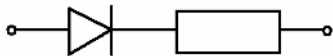
$$I_D = kU_D^2,$$

где k — известный коэффициент.

¹ Механизм разделения зарядов в восходящих потоках очень сложен и в данной задаче не рассматривается.

2.1.1 Рассмотрим участок цепи, состоящей из последовательно включенного диода и резистора с сопротивлением R (рис. 1). Разность потенциалов на участке равна $\Delta\varphi$. Определите силу тока, текущего в этом участке.

2.1.2 Определите разность потенциалов на резисторе $\Delta\varphi_R$.



2.1.3 Покажите, что если выполняется условие:

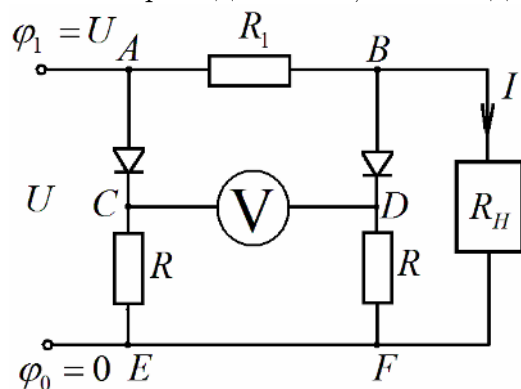
$$kR\Delta\varphi \ll 1,$$

то сила тока в таком участке $I \approx k(\Delta\varphi)^2$, а разность потенциалов на резисторе $\Delta\varphi_R \approx Rk(\Delta\varphi)^2$.

Воспользуйтесь формулой приближенного вычисления:

$$(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x \quad x \ll 1.$$

2.2 Схема ваттметра представлена на рис.2. Устройство состоит из двух участков с диодами (AE и BF), резистора R_1 и вольтметра. Сопротивление резистора R , гораздо больше сопротивления нагрузки ($R \gg R_H$). Кроме того, выполняется условие пункта 1.3: $kR\Delta\varphi \ll 1$. Вольтметр — идеальный, т.е. обладает очень большим сопротивлением.



2.2.1 Напряжение в цепи равно U , сила тока, текущего в нагрузке, равна I . Выберем потенциал нижнего проводника равным нулю ($\varphi_0 = 0$ В), а потенциал второго проводника, идущего от источника напряжения, $\varphi_1 = U$ (точка A на рис. 2). Определите потенциалы точек B , C и D .

2.2.2 Определите разность потенциалов между точками C и D . Преобразуйте, полученное выражение к виду:

$$U_V = \xi IU.$$

Выразите коэффициент ξ через k , R , R_1 и R_H .

2.2.3 Покажите, что при малом сопротивлении резистора R_1 по сравнению с сопротивлением нагрузки ($R_1 \ll R_H$), коэффициент ξ не зависит от R_H , а определяется только характеристиками элементов ваттметра.

2.2.4 Определите относительную погрешность η измерения мощности в приближении, описанном в предыдущем пункте.