

Розв'язок експериментального туру з фізики, старша ліга

Надана схема складається з реле РЭК23 та діода. Схема підключення зображена на рис. 1.

При увімкненні реле до джерела починає протікати струм, наростаючи від нуля, при цьому діод закритий. Різкій зміні струму запобігає електромагнітна індукція в котушці. При деякому критичному струмі спрацьовує реле, яке розриває контакт. Через різкий розрив кола виникає ЕРС на котушці протилежної полярності і діод відкривається, тому струм поступово зменшується. За деякий час струм через реле зменшується до такої величини, коли котушка не втримує якір і повертає контакт у стан за замовчуванням - замкнутий. І знову починається наростання струму.

Саме періодичні перемикання реле і є причиною звуку та вібрацій реле.

Це є прикладом автоколивальної системи.

Еквівалентна електрична схема зображена на рис. 2.

Реле є котушкою з індуктивністю L та опором R , джерело напруги U має внутрішній опір r . При увімкненні реле струм задовольняє рівняння другого правила Кірхгофа:

$$(R + r)I = U - L\dot{I}, \quad (1)$$

де доданок $(R + r)I$ відповідає падінню напруги на опорі, $-L\dot{I} = -L\frac{dI}{dt}$ — ЕРС на котушці, U — ЕРС джерела. І разом з початковою умовою $I(0) = 0$ маємо розв'язок

$$I(t) = \frac{U}{R + r} \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L}t} \right). \quad (2)$$

Величина $\tau = \frac{L}{R+r}$ є характерним часом LR - кола, протягом якого струм наростає до $1 - 1/e \approx 63\%$ від свого максимального значення. З грубим наближенням величину τ можна вважати періодом коливань, а отже частота коливань f та індуктивність котушки пов'язані співвідношенням

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{R}{L} \Rightarrow L = \frac{R}{f}, \quad (3)$$

де ми знехтували внутрішнім опором джерела. Виміряти частоту звуку можна за допомогою смартфона та спеціального програмного забезпечення для аналізу звуку, а опір — за допомогою мультиметру.

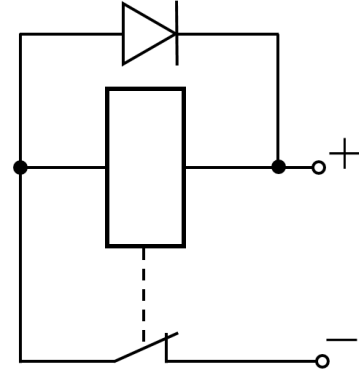


Рис. 1: Схема з'єднання реле та діода.

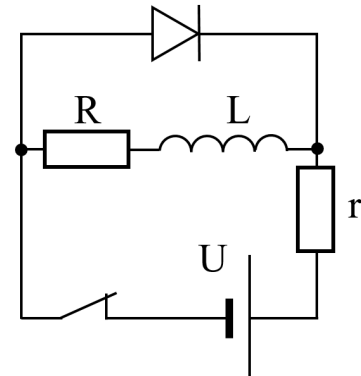


Рис. 2: Еквівалентна електрична схема.

Більш детальний аналіз даної схеми полягає у врахуванні струму спрацювання та відпускання реле та часу розмикання та замикання, які можна отримати з технічної документації реле.

Якісний графік залежності струму реле $I(t)$ від часу t зображений на рис. 3. Горизонтальні штриховані лінії показують струми спрацювання та відпускання реле. Вертикальні червоні штриховані лінії показують моменти часу, коли котушка починає перемикає реле, а штриховані-пунктирні зелені лінії - моменти часу розриву/з'єднання кола.

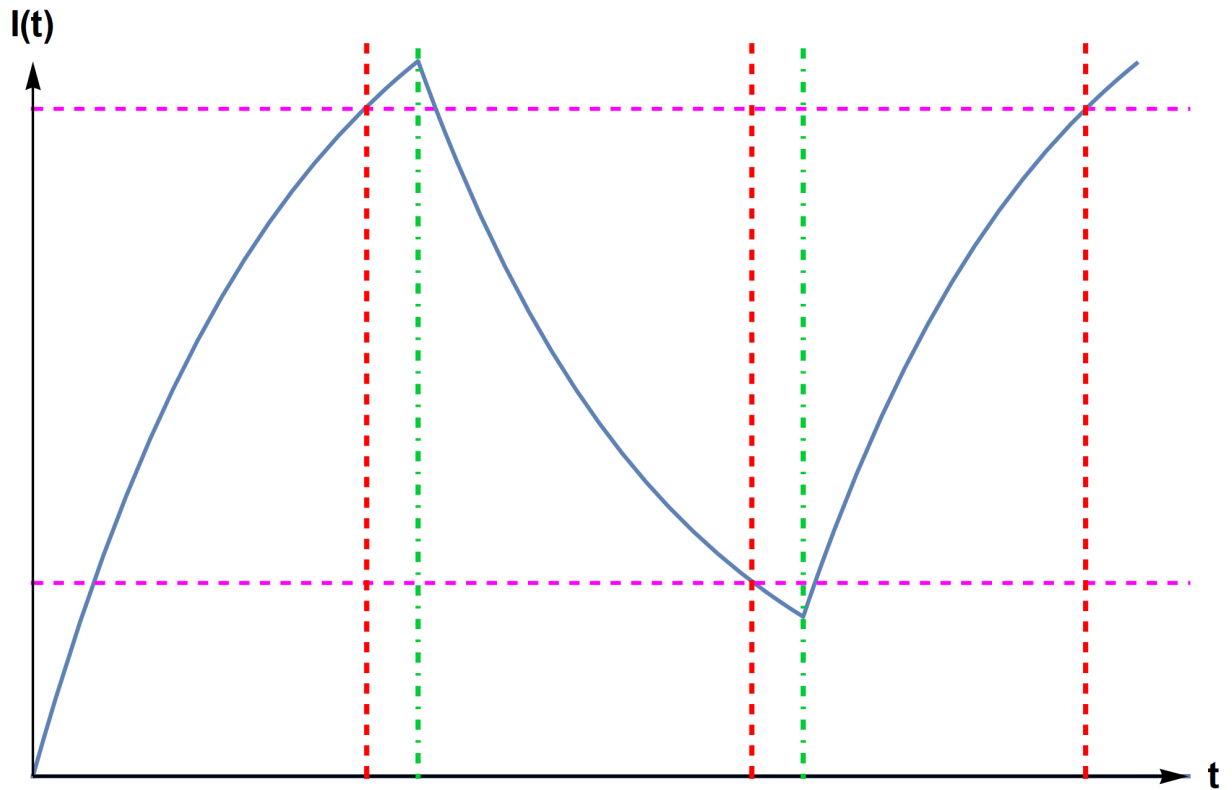


Рис. 3: Графік залежності струму реле $I(t)$ від часу t .