

138 Подключение и отключение катушки индуктивности

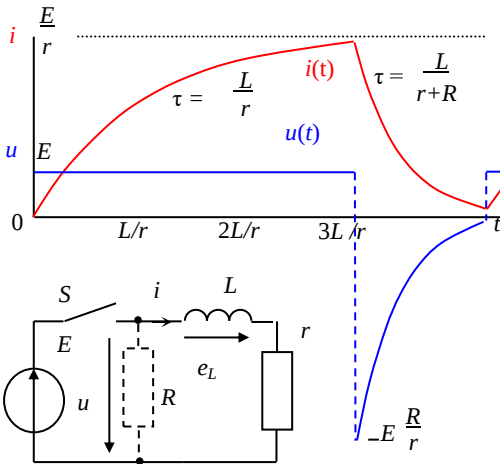


Рисунок 1 Графики напряжения и тока при подключении и отключении L катушки

Рассмотрим процесс подключения индуктивной катушки к источнику ЭДС.

Катушка представлена в виде индуктивности L и сопротивления проводов обмотки r , соединённых последовательно (рис. 1).

Появление и нарастание тока i в катушке создаёт электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции $e_L = -L di/dt$. Знак «-» говорит о том, что ЭДС самоиндукции направлена навстречу нарастающему току,

затрудняет его увеличение, забирая энергию и накапливая её в магнитном поле катушки. При изменении магнитного поля, в сердечнике катушки наводятся вихревые токи, что учитывается в виде эквивалентного резистора R , соединённого параллельно с катушкой.

По 2 закону Кирхгофа напряжение на резисторе равно сумме ЭДС

$$r i = E + e_L = E - L di/dt \quad (1)$$

Характеристическое уравнение $r = -Lp$, его корень $p = -r/L$, постоянная времени нарастания тока $\tau = L/r$, решение ищем в виде

$$i = Ae^{-t/\tau} + const \quad (2)$$

Принуждённое значение силы тока равно E/r , следовательно

$$const = E/r.$$

Начальное значение силы тока равно нулю, $0 = A + E/r$, значит

$$A = -E/r.$$

Ток катушки плавно нарастает от 0 до E/r с постоянной времени $\tau = L/r$.

$$i = E/r - (E/r) e^{-rt/L} = (E/r) (1 - e^{-t/\tau}) \quad (3)$$

Напряжение u на катушке скачком возрастает до ЭДС источника E .

Отключение индуктивной катушки Lr от источника ЭДС E

Начальное значение тока катушки равно E/r . При отключении катушки ток не может мгновенно упасть до нуля. Уменьшение тока, а значит магнитного потока, создаёт ЭДС самоиндукции $e_L = -L di/dt$, которая поддерживает убывающий ток. Так как контакты разомкнуты, энергия, запасённая в магнитном поле катушки, посредством вихревых токов, нагревает сердечник и другие металлические детали, что учтено в виде эквивалентного резистора R . Для облегчения процесса рассеяния энергии сердечники устройств постоянного тока делают сплошными, из технически чистого железа, обладающего хорошей электропроводностью (армо-железо).

Тем не менее, при использовании массивных сердечников, ЭДС самоиндукции способна поддерживать ток между размыкающимися контактами в виде электрической дуги, расплавляя эти контакты. Обрыв тока в индуктивной катушке вызывает импульс перенапряжения, который может пробить изоляцию, пережечь обмотки измерительных приборов, ударить человека. Импульсы коммутационных перенапряжений используют для зажигания газосветных ламп, сварочной дуги, топливных смесей в двигателях внутреннего сгорания, в электрошокерах и т. п.

Рассмотрим подробнее переходный процесс отключения катушки.

Напряжение на резисторах равно ЭДС самоиндукции $(r + R) i = -L di/dt$. Характеристическое уравнение $r + R = -Lp$; корень $p = -(r + R)/L$; $\tau = L/(r + R)$.

Решение уравнения ищем в виде $i = Ae^{-t/\tau} + const$.

Принуждённое значение силы тока равно 0, следовательно, $const = 0$.

Начальное значение силы тока равно $E/r = A + 0$, значит $A = E/r$.

Ток катушки уменьшается от E/r до 0 с постоянной времени $\tau = L/(r + R)$

$$i = (E/r) e^{-t/\tau} \quad (4)$$

Пик перенапряжения на катушке u больше ЭДС источника E в R/r раз

$$u = -R i = -(E R/r) e^{-t/\tau} \quad (5)$$

Для борьбы с перенапряжением на сердечник устанавливают замкнутые медные кольца или гильзу, что уменьшает эквивалентное

сопротивление R , увеличивает постоянные времени и затягивает процессы изменения тока. Можно шунтировать индуктивную катушку встречно-параллельным диодом D , это затянёт только процесс спада тока. На переменном токе перечисленные методы непригодны, для борьбы с коммутационными перенапряжениями применяют универсальный способ – демпфирующие RC -цепочки, состоящие из сглаживающих конденсаторов C и разрядных резисторов R .