

134 Переходные процессы при коммутации. Законы.

Коммутация это переключение электрических соединений в устройствах автоматики, электроэнергетики, электросвязи и т. д. Как правило, коммутация сопровождается переходными процессами, возникающими вследствие перераспределения токов и напряжений. При коммутации электрическая цепь переходит из одного состояния в другое и, если цепь содержит накопители энергии, то они затягивают процесс перехода, причём конденсаторы могут создать сверхтоки, а катушки индуктивности – перенапряжения.

Переходный процесс в электрической цепи – это электромагнитный процесс, возникающий в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому. Режим, при котором ЭДС, напряжения и токи в цепи являются постоянными или периодическими, называют установившимся. Начало переходного процесса – это момент коммутации в электрической цепи (отключение, подключение цепи к источнику внешнего питания, отключение или подключение отдельных элементов или участков цепи, короткое замыкание).

Переходные процессы в электрической цепи возникают, если в ней имеются индуктивные или емкостные элементы, обладающие способностью запасать и отдавать энергию магнитного или электрического поля. В момент коммутации (начало переходного процесса) происходит перераспределение энергии между индуктивными, емкостными элементами цепи как между собой, так и с внешними источниками энергии, подключенными к цепи. В случаях отключения от внешних источников питания переходный процесс возникает за счет энергии электромагнитного поля, накопленной до начала коммутации в индуктивных и емкостных элементах цепи. Запасенная в индуктивной катушке или электрическом конденсаторе энергия безвозвратно преобразуется в другие виды энергии (например, в тепловую на активном сопротивлении) или перераспределяется между индуктивным и емкостным элементами.

После окончания переходного процесса наступает новый установившийся режим, который определяется только внешними источниками энергии. Изменения энергии магнитного и электрического полей не могут происходить мгновенно, и, следовательно, не могут мгновенно протекать электромагнитные процессы в момент коммутации. Скачкообразное (мгновенное) изменение энергии в индуктивном или емкостном элементе приводит к необходимости иметь бесконечно большую мгновенную мощность $p = dW/dt$, что практически невозможно, ибо в реальных электрических цепях бесконечно большой мощности не существует.

Таким образом, переходные процессы не могут протекать мгновенно. С точки зрения математики переходные процессы заканчиваются за время, равное бесконечности ($t = \infty$). Практически же переходные процессы являются быстропротекающими, и их длительность обычно составляет доли секунды. Так как энергия магнитного W_m и электрического W_e полей описывается выражениями

$$W_m = \frac{Li^2}{2}, \quad W_e = \frac{Cu^2}{2},$$

ток в индуктивности и напряжение на емкости не могут изменяться мгновенно. На этом основаны законы коммутации.

Первый закон коммутации: ток в ветви с индуктивным элементом в начальный момент времени после коммутации имеет то же значение, какое он имел непосредственно перед коммутацией, а затем изменяется именно с этого значения. Первый закон коммутации записывают в следующем виде:

$$i_L(0) = i_L(0_-) = i_L(0_+),$$

считая, что коммутация происходит мгновенно в момент $t = 0$.

Аналогично первый закон коммутации записывается и для потокосцепления Ψ : $\Psi(0) = \Psi(0_-) = \Psi(0_+)$. То есть магнитный поток, сцепленный с витками катушки (потокосцепление), в момент коммутации сохраняет то значение, которое имел до коммутации, и начинает изменяться именно с этого значения.

Второй закон коммутации: напряжение на емкостном элементе в начальный момент после коммутации имеет то же значение, какое оно имело непосредственно перед коммутацией, а затем изменяется именно с этого значения. Второй закон коммутации записывают в следующем виде:

$$u_C(0) = u_C(0_-) = u_C(0_+).$$

Второй закон коммутации можно сформулировать и через электрический заряд на конденсаторе. Электрический заряд на конденсаторах, присоединенных к любому узлу, в момент коммутации сохраняет то значение, которое он имел до коммутации, и начинает изменяться именно с этого значения:

$$q(0) = q(0_-) = q(0_+).$$

В электрических цепях с резистивными элементами энергия электромагнитного поля не запасается. В результате в них переходные процессы не возникают, т. е. в таких цепях стационарные режимы устанавливаются мгновенно, скачком. В действительности любая электрическая цепь обладает каким-то сопротивлением R , индуктивностью L и электрической емкостью C за счет проводов, воздушных или кабельных линий. В реальных электротехнических устройствах существуют тепловые потери, обусловленные прохождением тока и наличием сопротивления R , а также магнитные и электрические поля.

Переходные процессы в реальных электротехнических устройствах можно ускорить или замедлять путем подбора соответствующих параметров элементов цепей, а также за счет применения специальных устройств.

1 закон: ток в катушке индуктивности непосредственно сразу после коммутации равен току перед коммутацией.

2 закон напряжение на обкладках конденсатора непосредственно сразу после коммутации равно напряжению перед коммутацией.