

УДК 621.316,3

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ КОММУТАЦИИ ТОКА ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ИЗ ОДНОЙ ГРУППЫ ВЕНТИЛЕЙ В ДРУГУЮ

В. В. ИВАШИН, Э. Г. ФУРМАН

При возбуждении электромагнитов ускорителей в установках для термоядерных исследований возникает необходимость получения магнитного цикла со сложным законом изменения во времени. В колебательных LC контурах такие поля получаются путем искусственной коммутации тока индуктивной нагрузки из цепи разряда накопительного конденсатора в цепь перезаряда или путем отключения индуктивной нагрузки от накопителя с последующим ее закорачиванием и т. д. [1, 2]. При этом требуется обеспечивать условия для нормальной работы управляемых коммутирующих приборов по скорости нарастания тока и времени восстановления управляющих свойств.

В [1, 2] рассмотрены индивидуальные схемы емкостей коммутации в мощных LC контурах при формировании в них тока треугольной, синусоидальной и трапецеидальной форм. В таких схемах для искусственного обесточивания каждого из управляемых приборов в контуре LC требуется дополнительный управляемый прибор.

В данной работе рассматривается схема с применением многообмоточного трансформатора, пригодная для емкостей искусственной коммутации одновременно нескольких коммутирующих приборов, в том числе и для тех случаев, когда эти приборы не имеют общих точек по анодам и катодам. Такое решение повышает надежность работы схемы в целом за счет уменьшения общего числа управляемых приборов и исключения некоторых аварийных режимов. Трансформатор целесообразно выполнять с подмагничиванием и проводить выбор его параметров с учетом насыщения магнитопровода и рядом специфических особенностей работы схемы.

Рассмотрим работу схемы на примере коммутации приборов в контуре с формированием в индуктивности L импульсов тока треугольной формы (рис. 1). Накопительный конденсатор C через тиристоры T_1 , T_1^1 и диоды D_1 , D_1^1 соединен с электромагнитом L . Последовательно с диодами включены вторичные обмотки коммутирующих трансформаторов Tr_1 , Tr_2 , первичные обмотки которых соединены последовательно и через тиристор T_2 подключены к коммутирующему конденсатору C_1 . Магнитопроводы трансформаторов подмагничиваются током электромагнита L , протекающим по обмоткам W_3 . Конденсатор C_1 имеет перезарядную цепь из диода D_2 и индуктивности L_1 . Суть формирования импульсов тока треугольной формы заключается в искусственном скачкообразном

переводе контура из режима, соответствующего углу ωtk , в режим, соответствующий углу $\pi - \omega tk$ (рис. 1,б). Для этого необходимо выключить тиристоры T_1, T_1^1 и включить диоды D_1, D_1^1 . К моменту t_1 ток электромагнита замкнут по контуру: конденсатор C , тиристор T_1 , обмотка подмагничивания W_3 трансформатора Tr_1 , электромагнит L , обмотка подмагничивания W_3 трансформатора Tr_2 , тиристор T_1^1 . При этом магнитное состояние трансформаторов характеризуется точкой A на рис. 3. Накопительный конденсатор C и коммутирующий конденсатор C_1 заряжены соответственно до напряжений U_2 и U_1 . В момент времени t_1 включается тиристор T_2 и коммутирующий конденсатор C_1 подключается к первичным обмоткам трансформаторов Tr_1 и Tr_2 . Под действием наведенной во вторичных обмотках W_2 э.д.с. ток в диодах D_1 и D_1^1 начинает нарастать, а ток тиристоров T_1 и T_1^1 уменьшается так, что сумма токов i_T и i_D обоих узлов за время коммутации t_γ на рис. 2 равна току индуктивной нагрузки

$$t_\gamma = \frac{I_m \cdot L_k}{U_{W_2} - U_2}, \quad (1)$$

где U_{W_2} — напряжение, наведенное во вторичной обмотке коммутирующего трансформатора; L_k — эквивалентная индуктивность цепи разряда емкости C с учетом приведенных индуктивностей вторичных цепей с диодами, тиристорами и конденсатором C_1 .

Для упрощения анализа электромагнитных процессов в схеме рассмотрим работу одного коммутирующего узла. С момента времени t_2 (рис. 2) коммутирующий конденсатор C_1 разряжается током

$$i_{C_1}(t) = I_m \cdot W_2 / W_1 + i_p, \quad (2)$$

где i_p — ток намагничивания трансформатора. Если не учитывать незначительное изменение тока электромагнита при разряде коммутирующего конденсатора и пренебречь величиной тока намагничивания трансформатора, то можно определить прикладываемое к тиристорам обратное напряжение

$$U_T(t) = U_1 \cdot W_2 / W_1 - U_2 + \left[\frac{I_m}{C} - \frac{I_m \cdot W_2^2}{W_1 \cdot C_1} \right] (t + t_\gamma). \quad (3)$$

Приравняв $U_T(t) = 0$, определим время, которое отводится тиристорам для восстановления вентильных свойств (рис. 2)

$$t_{в.т.} = \frac{U_1 \cdot W_2 / W_1 - U_2}{I_m \cdot W_2^2 / W_1 \cdot C_1 - I_m / C} - t_\gamma. \quad (4)$$

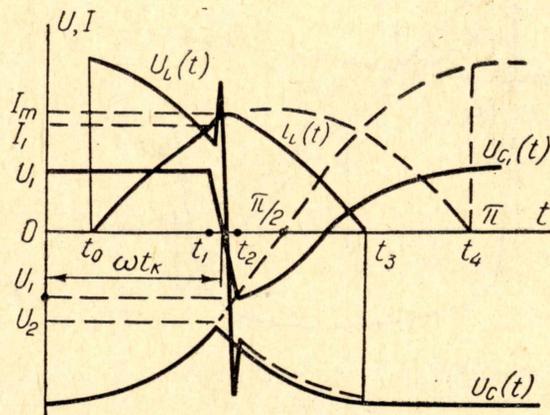
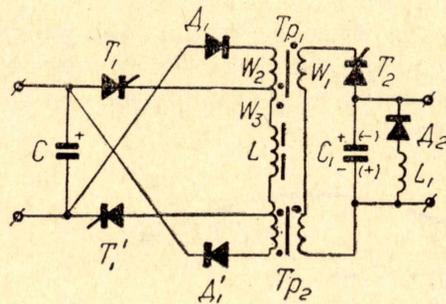


Рис. 1. Схема питания электромагнита импульсами тока треугольной формы.

Под действием положительного напряжения коммутирующего конденсатора, прикладываемого к первичной обмотке трансформатора, его сердечник за время t_3-t_1 перемагничивается от B_1 до $-B_2$. При нулевом напряжении конденсатора C_1 магнитное состояние сердечника характеризуется точкой D на рис. 3. В интервале времени t_4-t_3 коммутирующий конденсатор перезаряжается, а сердечник трансформатора перемагничивается от индукции $-B_2$ до $+B_m$ (рис. 3). В момент времени t_4 сердечник трансформатора насыщается, и тиристор T_2 выключается.

При симметричном перемагничивании сердечника трансформатора от $+B_m$ до $-B_m$ и обратно от $-B_m$ до $+B_m$ начальное и конечное напряжения на коммутирующем конденсаторе C_2 равны, т. е. энергия LC контура при разряде конденсатора увеличивается, а при перезаряде уменьшается на величину энергии, запасенной в коммутирующем конденсаторе.

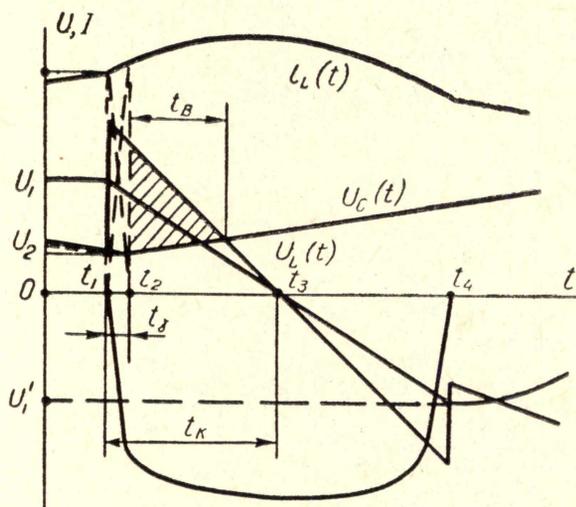


Рис. 2. Кривые тока и напряжений в схеме за время коммутации тока из тиристора в диод

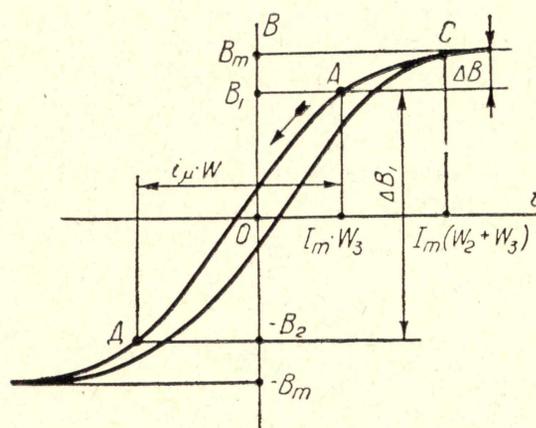


Рис. 3

Если перемагничивание сердечника несимметрично, как это показано на рис. 3, то индукция в точке A кривой намагничивания будет меньше индукции насыщения, а начальное и конечное напряжения на коммутирующем конденсаторе будут различны. Конечное напряжение на конденсаторе C_2 пропорционально отношению изменения индукции, т. е.

$$U_1^1 = U_1(\Delta B_1 + \Delta B) / \Delta B_1. \quad (5)$$

Индукцию B_1 в сердечнике трансформатора выбирают из условия, чтобы при перезаряде конденсатора C_1 через L_1 и D_2 (рис. 1) конечное напряжение на конденсаторе было равно требуемому значению напряжения на нем до коммутации. Величину индукции, на которую сердечник трансформатора должен быть подмагничен, можно определить из условия

$$B_1 = B_m \cdot e^{-b/2}, \quad (6)$$

где b — коэффициент затухания контура перезаряда C_1 , L_1 , D_2 .

Конструктивный параметр, определяющий размеры трансформатора, будет

$$W_1 \cdot S = \frac{\Psi^2}{B_1 + B}, \quad (7)$$

где S — сечение стали магнитопровода сердечника, Ψ — потокосцепление трансформатора, равное

$$\Psi = \int_{t_1}^{t_3} U_1(t) dt \approx \frac{I_m \cdot W_1 \cdot t_k^2}{2 \cdot W_2 \cdot C_1}. \quad (8)$$

Конструктивный расчет трансформатора проводится по известным методикам расчета импульсных трансформаторов, например [3]. При размещении на трансформаторе нескольких вторичных обмоток необходимо определять ток разряда емкости C по (2) с учетом этого фактора, а также учитывать индуктивности всех вторичных контуров при определении t_4 в (1) и т. д. по известным соотношениям. Следует отметить, что в рассмотренном методе коммутации насыщение трансформаторов в момент t_4 предотвращает возникновение перенапряжений в схеме.

Выводы

1. Рассмотренный метод емкостной искусственной коммутации тока индуктивной нагрузки из одной группы вентилях в другую через разделительный трансформатор с помощью одной коммутирующей конденсаторной батареи позволяет коммутировать токи одновременно в ряде групп приборов, не имеющих общих точек анод — катод.

2. Полученные основные расчетные соотношения позволяют провести инженерный расчет коммутирующего узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. ПТЭ, 1966, № 5, 151.
 2. В. В. Ивашин. Диссертация. Томск, 1968.
 3. Я. С. Ицхоки. Импульсные устройства. Госэнергоиздат, 1958.
-