

Выбор параметров цепи

управления дроссельными регуляторами тока

Статья посвящена анализу критериев оценки параметров цепи управления дроссельными регуляторами тока. Также предложен новый критерий оценки параметров цепи управления. Проведенные исследования процессов в цепи управления регуляторами тока позволили обосновать выбранный критерий и сформулировать определения таких режимов работы регулятора, как вынужденное намагничивание, свободное намагничивание и граничный режим.

**Виталий Скворцов,
к. т. н.**

sva@ie.fusur.ru

Управляемые ферромагнитные устройства — дроссели насыщения (ДН) и магнитные усилители (МУ) для регулирования параметров электрической энергии применяются давно, но с развитием силовых управляющих полупроводниковых приборов ферромагнитные регуляторы были постепенно вытеснены. Объясняется это тем, что при работе на частоте промышленной сети их основные достоинства не могут компенсировать такие недостатки, как инерционность и большая масса.

Важной проблемой в построении регуляторов напряжения и тока в ряде областей техники является комплексное решение задачи снижения их массы и габаритов. Действенным средством в решении такого комплекса задач станет введение промежуточного звена повышенной частоты и включения регулирующих органов и согласующих элементов в это звено. В результате резко уменьшается масса и габариты электромагнитных элементов, существенно повышается КПД электромагнитных элементов, что компенсирует потери на коммутацию и позволяет обеспечить высокие энергетические характеристики регулятора в целом. Введение ферромагнитных регуляторов в звено повышенной частоты позволяет не только снизить массу и габариты, но и открывает их новые положительные свойства.

В звене повышенной частоты ферромагнитный регулятор становится многофункциональным устройством и позволяет решить ряд проблем построения и обеспечения работоспособности полупроводниковой части преобразователя. В частности, он обеспечивает его защиту от перегрузок и коротких замыканий по цепи нагрузки; параллельную работу блоков; предотвращает одностороннее насыщение трансформатора звена повышенной частоты, так как в двухтактных преобразователях со звеном повышенной частоты часто возникает аварийная ситуация, вызванная односторонним насыщением сердечника силового высокочастотного трансформатора. Причиной его возникновения является любая несимметрия двух смежных полупериодов напряжения по-

вышенной частоты. При включении в первичную цепь трансформатора такого преобразователя ферромагнитного регулятора, например, дросселя насыщения, удается с его помощью фиксировать на определенном уровне амплитуду тока одностороннего насыщения. Исследования показали, что для ограничения токов одностороннего насыщения трансформатора на приемлемом уровне ($1,5 \cdot 2I_n$) достаточно в цепь подмагничивания дросселя насыщения включить линейный дроссель. Способность ограничивать ток на заданном уровне в силовых обмотках дросселя насыщения под действием сигнала в цепи управления при любых режимах работы открывает большие возможности при их использовании в качестве регуляторов переменного тока в устройствах преобразовательной техники, а также в преобразователях, у которых выходная характеристика — источник тока.

Дроссели насыщения (ДН) представляют собой управляемые устройства и относятся к достаточно обширному классу нелинейных электромагнитных устройств — магнитным усилителям (МУ). Этот класс устройств обладает следующими достоинствами: 1) простота схемы и конструкции; 2) высокая эксплуатационная надежность; 3) широкий диапазон мощностей; 4) хорошие регулировочные свойства; 5) легкость суммирования сигналов управления и смещения.

В общем случае структурно ДН отличаются от МУ отсутствием у первых обратной связи. В результате имеют значительно больший коэффициент усиления, они менее инерционны, потребляют меньшую мощность от источника подмагничивания, менее громоздки. Благодаря отмеченным особенностям, МУ получили широкое применение в различных областях техники. ДН распространены значительно меньше и используются в случаях, когда в нагрузке необходимо регулировать величину тока, а не напряжения. Это объясняется тем, что введение в магнитный усилитель обратных связей при улучшении практически всех параметров

лишает его главного достоинства дросселя насыщения — свойства системы неизменно го тока.

Как известно, свойства ДН главным образом определяются величиной полного сопротивления цепи подмагничивания, при этом активная составляющая его, как правило, близка к нулю, а необходимую величину сопротивления устанавливают индуктивностью L_y .

Два крайних значения величины индуктивности дросселя в цепи управления — нуль и бесконечность L_y — обуславливают два крайних режима работы ДН: режим свободного намагничивания при нуле и вынужденного при бесконечной индуктивности дросселя. Включение дросселя $0 < L_y < \infty$ обеспечивает работу ДН в промежуточном режиме. Режим работы ДН определяет форму кривой выходного тока в статическом режиме, а также величину бросков тока I_H в динамике (внезапное короткое замыкание на выходе, включение на разряженную емкость фильтра и др.).

При величине $L_y \rightarrow \infty$, что соответствует режиму вынужденного намагничивания, форма выходного тока ДН приближается к прямоугольной, а ДН приобретает свойства источника тока как в статических, так и в динамических режимах.

При исследовании ферромагнитных регуляторов на базе разнообразных дросселей насыщения, работающих на частоте промышленной сети, как правило, в качестве критерия оценки величины дополнительной индуктивности цепи управления используется L_y — относительный параметр AL_S , где в качестве базиса используется индуктивность рассеяния обмотки управления L_S ферромагнитного регулятора

$$L_y = AL_S$$

При постоянной частоте питающего напряжения и применении оптимально спроектированных ферромагнитных регуляторов правомерность выбора данного базиса не вызывает сомнения, так как это подтверждается сопоставительным анализом свойств устройств различной мощности.

Однако использование этого критерия в устройствах, где ферромагнитный регулятор введен в звено повышенной частоты, не корректно. Это обусловлено тем, что выбор частоты преобразования зависит от многих параметров, и в конечном итоге она может быть выбрана в диапазоне от сотен Гц до десятков кГц. При столь широком диапазоне частот ферромагнитные материалы для каждого определенного поддиапазона различны, конструкции и типоразмеры магнитопроводов также различны и, следовательно, выбор рабочих индуктивностей магнитопроводов сильно зависит от частоты. Все это препятствует использованию в качестве базиса для выбора индуктивности цепи управления ферромагнитного регулятора зависимый от его конструкции и материала параметр — индуктивность рассеяния обмотки управления.

В ряде случаев влияние цепи управления ферромагнитного регулятора на электромагнитные процессы может отражать такой па-

раметр, как коэффициент модуляции тока управления

$$k_{\mu 0} = \frac{I_{\mu 0}}{I_d}$$

где $I_{\mu 0}$ — амплитуда основной гармоники тока, I_d — среднее значение тока подмагничивания, или

$$k_{\mu} = \frac{I_d - I_{d \min}}{I_d}$$

где $I_{d \min}$ — минимальное мгновенное значение тока управления.

Но в режимах, близких к короткому замыканию, основных для регуляторов, используемых в качестве источников тока, при определенных значениях активных и индуктивных сопротивлений цепей нагрузки и управления возникают интервалы времени, когда в этих режимах $k_{\mu i} = \text{const} = 1$ и не отражает характера процессов в ферромагнитном регуляторе.

На основании исследований процессов в ферромагнитных регуляторах дроссельного типа (рис. 1) установлено, что ток в их цепи управления на четверти периода рабочей частоты меняется по следующему закону:

$$i_y = i_{y(0)} + t \times \left(\frac{E - r \times i_{y(0)}}{L} \right)$$

где $i_{y(0)}$ — начальное значение тока в выбранном интервале; t — текущее время; $r = R_H + R_y$; $E = U_{II} - U_y$; $L = L_y + L_H$.

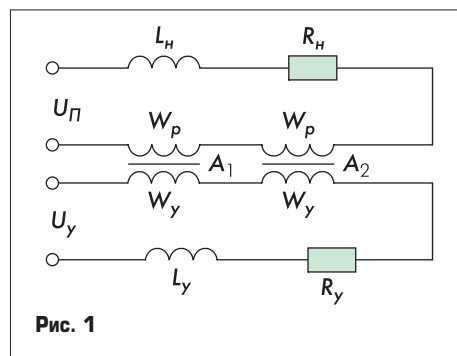


Рис. 1

Из приведенного выражения видно, что наибольшее влияние на характер тока оказывает индуктивность L и сопротивление, причем каждая из этих величин содержит постоянную и варьируемую части, то есть выражение отражает как физические процессы в регуляторе, так и взаимосвязь конструктивных параметров регулятора (L_H , R_H).

Исходя из вышеизложенного, предлагается в качестве критерия оценки параметров цепи управления принять время спада тока цепи управления до нуля. Задаваясь током управления $i_y = 0$, получим:

$$t_0 = \frac{i_{y(0)} \times L}{E - r \times i_{y(0)}}$$

Это выражение устанавливает зависимость времени спада тока в цепи управления до нуля (t_0) от параметров E , L , r , $i_{y(0)}$, из которых

искомой величиной при проектировании преобразователя обычно является L_y . Но здесь отсутствует, как правило, известная величина среднего значения тока цепи управления I_{ycp} . Поэтому необходимо определить время спада тока в цепи управления как функцию среднего значения тока этой цепи:

$$t_0 = f(I_{ycp})$$

Для этого рассмотрим ток цепи управления в режиме максимальной токовой нагрузки регулятора при заданных значениях среднего тока цепи управления I_{ycp} и максимального тока управления $i_{y(0)}$ этой цепи при следующих допущениях:

- закон изменения тока за полупериод — линейный;
- время спада и время нарастания тока управления равны между собой;
- ток в цепи управления однополярный.

Эти допущения правомерны при условии, что индуктивность в цепи управления линейна, а активные сопротивления рабочих обмоток, обмоток управления, линейного дросселя и нагрузки малы, что соответствует режиму максимальной токовой нагрузки.

С учетом принятых допущений средний ток в цепи управления за полупериод питающего напряжения можно описать следующим уравнением:

$$I_{ycp} = i_{y(0)} \times \left(1 - \frac{T}{8t_0} \right)$$

откуда

$$t_0 = \frac{T}{8 \times \left(1 - \frac{I_{ycp}}{i_{y(0)}} \right)}$$

Совместное решение полученных выражений относительно t_0 дает связь среднего значения тока цепи управления и индуктивности:

$$L = \frac{T \times (E - r \times i_{y(0)})}{8 \times (i_{y(0)} - I_{ycp})}$$

Время спада тока i_0 до нуля полностью характеризует параметры цепи управления при заданной частоте. Для получения критерия оценки дроссельных регуляторов, работающих при разных частотах, следует удвоенное время спада тока управления до нуля, определенное в режиме максимальной токовой нагрузки ($R_H = \text{min}$), соотнести с полупериодом питающего напряжения. Тогда получим относительное время изменения тока цепи управления

$$\tau_{y(0)} = \frac{4t_0}{T}$$

где

$$t_0 = \frac{i_{y(0)} \times L}{E - r \times i_{y(0)}} = \frac{T}{8 \times \left(1 - \frac{I_{ycp}}{i_{y(0)}} \right)}$$

Проводя анализ полученного выражения, можно предложить следующие критерии режимов работы ферромагнитных регуляторов (рис. 2):

- если $\tau_{y(0)} < 1$, то ферромагнитный регулятор работает в режиме свободного намагничивания;
- если $\tau_{y(0)} > 1$, то ферромагнитный регулятор работает в режиме вынужденного намагничивания;
- если $\tau_{y(0)} = 1$, то регулятор работает на границе свободного и вынужденного намагничивания.

Литература

1. Львов Е. Л. Магнитные усилители и техника автоматического регулирования. М.: Энергия. 1972.
2. Обрусник В. П. Дискретно управляемые ферромагнитные элементы для преобразования параметров электроэнергии. М.: Наука. 1979.

