

ме преобразователя с нулевыми вентилями уже, чем в выпрямительном режиме, кроме того, увеличение φ приводит к некоторому увеличению зоны прерывистых токов.

Л и т е р а т у р а

1. Анхимюк В.Л., Ильин О.П. Автоматическое управление электроприводами. Минск, 1965. 2. Анхимюк В.Л., Михеев Н.Н. Анализ электромагнитных процессов выпрямителя. — В сб.: Электроэнергетика, вып. 2. Минск, 1971. 3. Михеев Н.Н., Кривцов В.В., Раткевич Е.П. Вентильный многодвигательный электропривод. Авт. свид. № 485534. — Бюл. изобрет., 1975, № 35.

УДК 621.314.26

В.Г.Черномашенцев, канд.техн.наук,
В.А.Пацкевич, Ю.М.Зинин, канд.техн.наук,
А.М.Уржумсков

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ ИНВЕРТОР

Тиристорные преобразователи частоты нашли наиболее широкое применение в установках для индукционного нагрева металлов [1, 2, 3]. Данные преобразователи имеют значительное разнообразие схем и рабочих режимов, причем на повышенных частотах большое распространение получили различные модификации схем последовательных инверторов [1].

Нагрузкой такого инвертора в электротермических установках обычно служит колебательный контур, образованный индуктивностью нагревателя и компенсирующей емкостью. В ходе технологического процесса параметры нагрузочного колебательного контура изменяются в широких пределах [1, 2], что сопровождается изменением режима работы тиристорного преобразователя, потребляемой мощности, а также структуры эквивалентной электрической схемы замещения. Отмеченное предьявляет особые требования к схеме инвертора.

В Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта проведено исследование высокочастотного стабилизированного тиристорного инвертора (рис. 1) [5], способного работать на нагрузку, изменяющуюся в широких пределах. Данная нагрузка Z_n является скомпенсированной и состоит из параллельного колебательного контура.

Работу инвертора в установившемся режиме рассмотрим с момента включения тиристоров $V2$ и $V3$. По цепи, образованной включившимися тиристорами, коммутирующим конденсатором C_K , нагрузкой Z_H , коммутирующим дросселем L_O и разделительным конденсатором C_P , начинает протекать ток. Параметры отмеченной цепи выбраны такими, что форма тока близка к синусоидальной. После прохождения током своего максимального значения полярность напряжения на коммутирующем дросселе меняет знак и в момент, когда напряжение между анодом диода $V1$ и минусовой шиной превысит величину входного напряжения U_d , включается диод $V1$. Включение последнего ограничивает возрастание напряжения на тиристорах инвертора при изменении параметров нагрузки. Данное ограни-

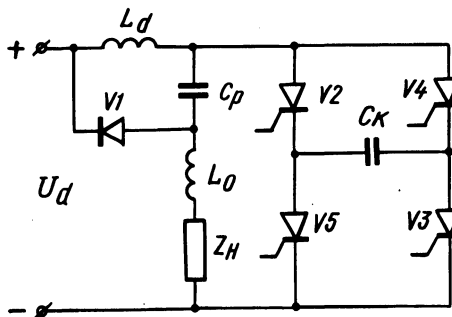


Рис. 1. Схема стабилизированного тиристорного инвертора.

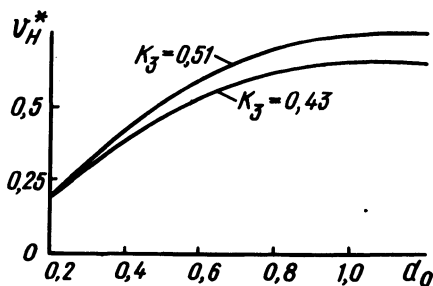
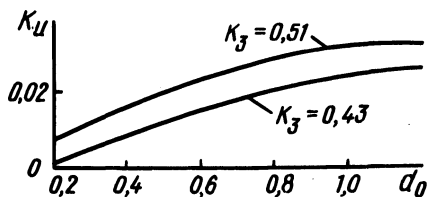


Рис. 2. Зависимость $U_H^* = f(d_0)$ при различных коэффициентах заполнения.

Рис. 3. Зависимость $k_H = f(d_0)$ при различных коэффициентах заполнения.



чение равно приблизительно удвоенному напряжению источника питания. С нарастанием тока через диод $V1$ падает до нуля ток тиристоров и они выключаются, сам же диод выключится как только иссякнет запас электромагнитной энергии в коммутирующем дросселе L_O . Затем с некоторой паузой включаются тиристоры $V4$, $V5$ и в схеме инвертора протекают процессы, уже описанные выше.

За время горения пары тиристоров и паузы в колебательном контуре нагрузки Z_H формируется период тока нагрузки. Таким образом, за полный период работы тиристоров инвертора в нагрузке формируются два периода колебательного тока. Данный инвертор может быть выполнен и в многоячейковом исполнении, что повышает предельную частоту инвертирования.

С целью решения вопроса о пригодности рассмотренной схемы в преобразователях частоты для индукционного нагрева металлов был проведен анализ электромагнитных процессов, протекающих в инверторе. Для этого была разработана программа расчета на ЭЦВМ, в которой решались системы дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные процессы в схемах замещения на отдельных интервалах работы, в пределах каждого из которых условия остаются неизменными. Полная автоматизация расчета обеспечивается тем, что расчет ведется с момента пуска инвертора, а начальные условия для каждого последующего расчетного интервала вводятся в программу исходя из конечных значений соответствующих величин предыдущего интервала.

Для получения обобщенных результатов, пригодных для инверторов данного типа, анализ электромагнитных процессов проведен с использованием относительных единиц [4, 6].

В процессе расчета изменением эквивалентного сопротивления нагрузки $r_{\text{экв.н}}$ затухание инвертора d_0 изменялось в пределах от 0,2 до 1,2. При этом фиксировались такие важные и необходимые для расчета тиристорного преобразователя величины, как напряжение на нагрузке, входной ток инвертора, время, предоставляемое на восстановление управляемости тиристоров, коэффициент использования тиристоров на мощности $k_{\text{и}}$, равный отношению входной мощности к учетверенному произведению амплитудных значений тока и напряжения на тиристорах.

Известно [4, 6], что на свойства инвертора большое влияние оказывает коэффициент заполнения k_3 , равный отношению частоты нагрузочного тока к удвоенной частоте собственных колебаний инверторного контура. В расчете данной схемы k_3 изменялся в пределах 0,4...0,7 путем изменения коммутирующих элементов преобразователя. Кроме того, варьированием параметров нагрузочного колебательного контура изменялась величина его затухания d_n в пределах 0,05...0,2.

На рис. 2 приведена зависимость относительной величины напряжения на нагрузке U_n^* при изменении d_0 от 0,2 до 1,2

и различных коэффициентах заполнения k_3 . Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением d_0 и k_3 величина U_H^* несколько возрастает. Однако в исследуемом диапазоне изменения d_0 напряжение на нагрузке не превышает U_d . При отключении стабилизирующего диода величина U_H возрастает до $2,5 U_d$. Следовательно, наличие стабилизирующего диода приводит к ограничению напряжений на элементах схемы инвертора в широком диапазоне изменения d_0 , что позволяет успешно применять данный инвертор для индукционного нагрева и плавки металлов.

Расчет электромагнитных процессов показал, что при изменении d_0 в тех же пределах ($d_0 = 0,2 \dots 1,2$) относительная величина максимального напряжения $U_{т.мах}^*$, прикладываемого к тиристорам, изменяется в 1,5 раза. В отмеченном диапазоне изменения d_0 величина $U_{т.мах}^*$ не более чем в 2,2 раза превышает U_d . Если отключить стабилизирующий диод, то, согласно [1], при тех же условиях $U_{т.мах}$ изменяется в пределах от 2 до 5.

Вопрос о рациональном использовании тиристоров в той или иной схеме целесообразно решать путем сравнения коэффициентов использования $k_{и}$ тиристоров по мощности. На рис. 3 показаны зависимости данных коэффициентов исследуемого инвертора от параметра d_0 при различных значениях k_3 . Сравнивая $k_{и}$ данного инвертора с широко используемым на практике инвертором со встречно-параллельными диодами [1, 4, 6], можно заключить на основании [6], что при $d_0 = 0,8 \dots 1,2$ они имеют примерно равный $k_{и}$, а при $d_0 = 0,2 \dots 0,4$ у исследуемого инвертора $k_{и}$ выше, чем у инвертора со встречно-параллельными диодами.

В результате проведенных расчетов определены оптимальные величины d_0 , k_3 , d_H с учетом таких факторов, как время, предоставляемое на восстановление управляющих свойств тиристоров, величины скорости изменения тока и напряжения на тиристорах, входная мощность, коэффициент использования тиристоров по мощности. На основании оптимальных значений d_0 , k_3 , d_H по заданным величинам - номинальной мощности преобразователя, напряжению источника питания U_d , выходной частоте нагрузки определяются параметры коммутирующих элементов силовой схемы. С увеличением частоты инвертирования оптимальные значения d_0 и k_3 уменьшаются без изменения d_H .

Полученные результаты были использованы на практике при расчете тиристорных преобразователей частоты от 2,5 до 44 кГц и внедренных в промышленную эксплуатацию Белорусским институтом инженеров железнодорожного транспорта на ряде заводов страны. Преобразователь на 2,5 кГц имеет следующие данные: мощность 250 кВт; $d = 0,8$; $k = 0,51$; $d_n = 0,2$; $C = 4C_k$; $L_d = 10L$ (рис.1), охлаждение ^з водяное, ^нгабариты 900 x 1500 x 2500 мм.

Л и т е р а т у р а

1. Беркович Е.И. и др. Тиристорные преобразователи высокой частоты. Л., 1973.
2. Промышленное применение токов высокой частоты. - Труды ВНИИ ТВЧ, вып. 7. М.-Л., 1966.
3. Применение токов высокой частоты в электротермии. Под ред. А.Е.Слухоцкого. Л., 1973.
4. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. - Труды УАИ, вып. 91. Уфа, 1976.
5. Кацнельсон С.М. и др. Последовательный тиристорный инвертор. Авт.свид. № 547019. - Бюл.изобрет. 1977, №6.
6. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. - Труды УАИ, вып. 22. Уфа, 1971.

УДК 621.3.052.33

Э.В.Купчинова,
Т.Т.Розум, канд.техн.наук

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Условия симметрии в трехфазных цепях с изолированной нейтралью могут не выполняться в силу различных причин. В результате происходит смещение потенциала нейтральной точки и приемника относительно центра треугольника линейных напряжений, и симметрия фазных напряжений нарушается.

Рассмотрим простую методику графоаналитического исследования режимов работы трехфазной цепи. Класс решаемых задач ограничен случаем, когда

$$Z_A = mze^{j\varphi}; m = \text{var}; \varphi = \text{var}; Z_B = Z_C = ze^{j\alpha} = \text{const.}$$

Выражение напряжения смещения нейтрали [1]