

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ИНВЕРТОРНОМ РЕЖИМЕ

Анализ электромагнитных процессов преобразователя без нулевых вентилей в выпрямительном и инверторном режимах осуществляется по одним и тем же уравнениям с учетом знака противо-э.д.с. двигателя [1]. Нулевой вентиль приводит к изменению характера протекания электромагнитных процессов, происходящих в преобразователе при работе двигателя в двигательном и генераторном режимах. В двигательном режиме работы двигателя ток через нулевой вентиль протекает за счет разности между э.д.с. самоиндукции и противо-э.д.с. двигателя, в генераторном режиме - за счет разности между противо-э.д.с. двигателя и э.д.с. самоиндукции.

Вывод обобщенных уравнений для анализа электромагнитных процессов преобразователя в инверторном режиме произведем согласно методике, изложенной в [2].

На рис. 1, а приведена схема m -фазного выпрямителя, работающего на нагрузку с противо-э.д.с. E , имеющую активное сопротивление R и индуктивность L ; на рис. 1, б - выходное напряжение преобразователя, работающего в инверторном режиме; на рис. 1, в - ток нагрузки. Рассматривается квазистационавшийся процесс с длительностью периода λ при равенстве нулю обратных токов вентилей, их внутренних падений напряжений и полного сопротивления сети на стороне переменного тока, причем противо-э.д.с. неизменна в течение периода λ .

Кривые выходного напряжения U и тока i состоят из участков, каждый из которых описывается собственным уравнением. Количество участков n зависит от числа фаз источника синусоидального напряжения, схемы соединения вентилей и способа управления преобразователем.

За первый участок принимаем участок с наименьшим начальным значением тока i_{n1} .

В соответствии с выражением (3) [2] с учетом знака противо-э.д.с. двигателя при инверторном режиме работы преобразователя получим

$$i_{n1}^* = \varepsilon + \frac{\cos \theta}{1 - \exp(-\lambda \operatorname{ctg} \theta)} \left[\sum_{l=1}^n a_l \sin(\gamma_{al} + \lambda_l - \theta) \right]$$

$$\times \exp(-\lambda_{k1} \operatorname{ctg} \theta) - \sum_{l=1}^n a_l \sin(\psi_{3l} - \theta) \exp(-\lambda_{n1} \operatorname{ctg} \theta) \Big], \quad (1)$$

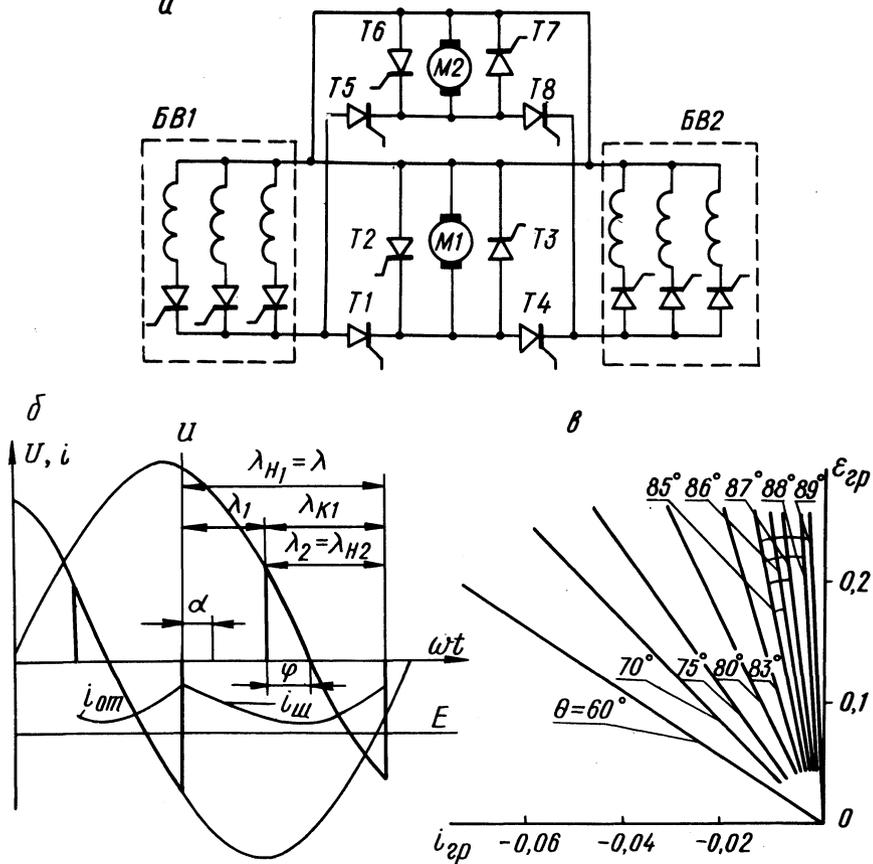
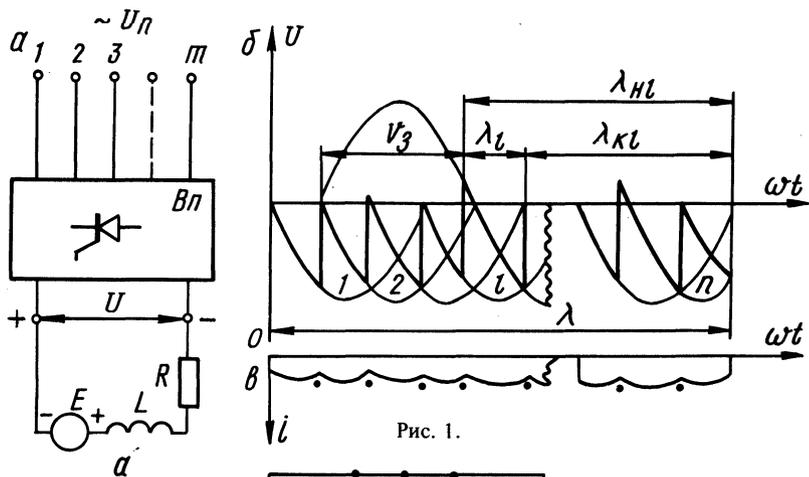
где $i_{n1}^* = \frac{i_{n1} R}{U_6}$ и $\varepsilon = \frac{E}{U_6}$ - относительные значения соответственно начального тока первого участка и противо-э.д.с. двигателя; U_6 - базовое напряжение (за U_6 принята амплитуда напряжения сети); $\theta = \arctg \frac{\omega L}{R}$; $a_1 = \frac{U_{m1}}{U_6}$ - коэффициент напряжения; U_{m1} - амплитуда синусоидального напряжения питания данного участка; ψ_{3l} - угол зажигания вентиля, обеспечивающего протекание тока данного участка (отсчитывается от начала синусоиды напряжения питания данного участка); λ_1 - длительность данного участка; λ_{k1} - величина угла от конца данного участка l до конца периода; λ_{n1} - величина угла от начала данного участка до конца периода.

Принимая $i_{n1}^* = 0$, получим уравнение граничной э.д.с. областей прерывистого и непрерывного тока

$$\varepsilon_{\text{гр}} = \frac{\cos \theta}{1 - \exp(-\lambda \operatorname{ctg} \theta)} \left[\sum_{l=1}^n a_l \sin(\psi_{3l} - \theta) \exp \times \exp(-\lambda_{n1} \operatorname{ctg} \theta) - \sum_{l=1}^n a_l \sin(\psi_{3l} + \lambda_1 - \theta) \exp(-\lambda_{k1} \operatorname{ctg} \theta) \right]. \quad (2)$$

В соответствии с выражением (6) [2] с учетом знака противо-э.д.с. двигателя относительное значение среднего тока преобразователя

$$i_{\text{cp}}^* = \varepsilon + \frac{1}{\lambda} \sum_{l=1}^n a_l \sin(\psi_{3l} + \frac{\lambda_1}{2}) \sin \frac{\lambda_1}{2}. \quad (3)$$



Из полученных обобщенных уравнений (2) и (3) можно получить уравнения для любой схемы выпрямителя, работающего в инверторном режиме.

На рис. 2, а представлена схема электропривода постоянного тока, обеспечивающего независимое реверсивное управление и регулирование скорости вращения нескольких электродвигателей [3]. Электропривод состоит из двух преобразователей и нескольких электродвигателей. Каждый из преобразователей представляет собой регулируемый (базовый) выпрямитель (БВ1, БВ2) и дополнительные управляемые вентили, включенные в виде параллельных цепей. Выпрямители работают с фиксированным углом регулирования, приблизительно равным 90 град. эл., что обеспечивает равенство положительных и отрицательных площадок кривых выпрямленного напряжения.

Напряжение, прикладываемое к двигателю, зависит от углов регулирования отдельных (Т1, Т4) и шунтирующих (Т2, Т3) вентилях. Линейные диаграммы напряжений и токов при работе преобразователя в инверторном режиме представлены на рис. 2, б, где u - напряжение сети; $i_{ш}$ и $i_{от}$ - соответственно ток шунтирующего и отдельного вентилях; φ - угол горения отдельного вентиля при положительном питающем напряжении; α - текущее значение угла.

За первый участок принимается участок работы шунтирующего вентиля, так как в начале этого участка ток имеет наименьшее значение. В соответствии с линейной диаграммой (рис. 2, б), подставляя в (2) и (3) $a_1=0$; $a_2=1$; $\vartheta_{32} = \pi - \varphi$; $\lambda_2 = \lambda_{н2} = \frac{\pi}{3} - \alpha + \varphi$; $\lambda_{к2}=0$, получим уравнения для определения $\epsilon_{гр}$ и $i_{ср}^*$;

$$\epsilon_{гр} = \frac{\cos \theta}{1 - \exp\left(-\frac{2\pi}{3} \operatorname{ctg} \theta\right)} \left[\sin(\varphi + \theta) \times \exp\left[\left(\alpha - \frac{\pi}{3} - \varphi\right) \operatorname{ctg} \theta\right] - \sin\left(\frac{4\pi}{3} - \alpha - \theta\right) \right]; \quad (4)$$

$$i_{ср}^* = \epsilon_{гр} - \frac{3}{2\pi} \left[\cos \varphi - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) \right]. \quad (5)$$

По уравнениям (4) и (5) построены границы прерывистого тока (рис. 2, в) для $\varphi = 8$ град.эл. Результаты расчета подтверждают, что зона прерывистых токов в инверторном режи-

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.