

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.341.572

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С РЕЗОНАНСНЫМ КОНТУРОМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Ф.Р. Исмагилов, Н.А. Фролов, А.Ф. Ягудин

г. Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет

VARIABLE-FREQUENCY CONTROL FEATURES OF AN AUTONOMOUS INVERTER WITH THIRD ORDER RESONANT CIRCUIT

F.R. Ismagilov, N.A. Frolov, A.F. Yagudin

Ufa, State Aviation Technical University

Приводится анализ режимов работы автономного инвертора напряжения с резонансным нагрузочным контуром третьего порядка, при изменении сопротивления нагрузки от нулевого до бесконечного значений с одновременным обеспечением заданного значения тока в момент коммутации силовых ключей.

Ключевые слова: инвертор, резонансный контур, управление.

Operating mode of an autonomous voltage inverter with a third order resonant circuit when changing the load resistance from zero to infinite value with simultaneous provision with current reference at the power keys commutation moment is analyzed.

Keywords: inverter, resonant circuit, control.

Автономные инверторы напряжения или тока, включающие в себя резонансные нагрузочные контуры порядка выше второго, обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с известными схемами контуров второго порядка за счёт дополнительных степеней свободы. Однако это затрудняет автоматический поиск оптимальных режимов, так как имеется не одно состояние инвертора, при котором выполняются параметры управления.

В настоящей работе проводится анализ режимов работы автономного инвертора напряжения с резонансным нагрузочным контуром третьего порядка при изменении сопротивления нагрузки от нулевого до бесконечного значений с одновременным обеспечением заданного значения тока в момент коммутации силовых ключей.

Рассмотрим транзисторный резонансный инвертор напряжения с нагрузочным контуром третьего порядка, показанным на рис. 1. Схема и параметры нагрузочного контура взяты из работ [1, 2], в которых показано, что при определённых соотношениях значений реактивных элементов возможна коммутация при нулевом токе и посто-

янной частоте при изменении сопротивления нагрузки от нуля до бесконечности с сохранением режима источника тока. С другой стороны, повышенный порядок нагрузочного контура увеличивает число режимов работы инвертора, при которых возможно переключение при заданном значении тока через ключи, а также расширяются возможности частотного управления инвертором.

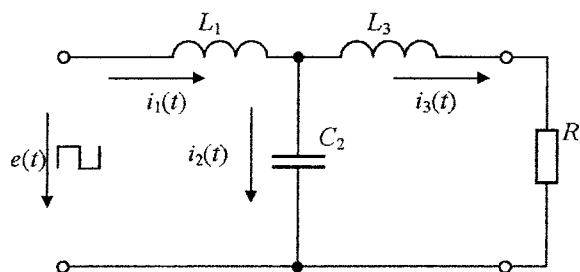


Рис. 1

Принимая нормированные значения элементов $L_1 = 1$, $C_2 = 1$, $E = 1$, запишем систему уравнений цепи (рис. 1):

$$\begin{cases} L_3 = \frac{1}{-\omega^2 R_3 + (-j)\omega^3 L_3 + R_3 + j\omega + j\omega L_3}, \\ L_2 = \frac{j\omega(j\omega L_3 + R_3)}{-\omega^2 R_3 + (-j)\omega^3 L_3 + R_3 + j\omega + j\omega L_3}, \\ L_1 = \frac{\omega^2 L_3 + (-j)\omega R_3 - 1}{-\omega^2 R_3 + (-j)\omega^3 L_3 + R_3 + j\omega + j\omega L_3}. \end{cases} \quad (1)$$

Входное напряжение (меандр) разложим в ряд Фурье по косинусам

$$e(t) = \frac{4 \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \cos(n\omega t)}{\pi n} \quad (2)$$

В таком случае очевидно

$$i_1(t) = \frac{4 \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) (\cos(n\omega t) \operatorname{Re}(L_1) - \sin(n\omega t) \operatorname{Im}(L_1))}{\pi n}. \quad (3)$$

Для определения зависимости частоты входного напряжения $e(t)$ от значения сопротивления нагрузки R_3 , при котором значение входного тока $i_1(t)$ равно заданному значению в момент переключения, положим $t = \frac{\pi}{2\omega}$ и запишем (3) в виде

$$i_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2 \operatorname{Im}(L_1) (1 - (-1)^n)}{\pi n} \right). \quad (4)$$

Принимая нормированные значения элементов $L_1 = 1, C_2 = 1$, запишем (4) с учётом (1) в виде

$$\begin{aligned} i_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} 2\omega \left(L_3 + 1 - 2\omega^2 n^2 L_3 - \omega^2 n^2 L_3^2 + \omega^4 n^4 L_3^2 - \right. \\ \left. - R_3^2 + \omega^2 n^2 R_3^2 \right) (1 - (-1)^n) / \left((R_3^2 - 2\omega^2 n^2 R_3^2 + \right. \\ \left. + \omega^4 n^4 R_3^2 + \omega^2 n^2 L_3^2 + 2\omega^2 n^2 L_3 - 2\omega^4 n^4 L_3^2 + \omega^2 n^2 - \right. \\ \left. - 2\omega^4 n^4 L_3 + \omega^6 n^6 L_3^2 \right) \pi. \end{aligned} \quad (5)$$

На рис. 2 приводится зависимость значения входного тока $i_1(t)$ в момент переключения от

частоты входного напряжения $e(t)$ для $R_3 = 1/2$ и $L_3 = \frac{5}{4}$.

Из рис. 2 видно, что существуют две частоты входного напряжения, при котором имеет место нулевое значения входного тока $i_1(t)$ в момент переключения. В этой связи представляет интерес найти зависимость частоты входного напряжения от сопротивления нагрузки R_3 .

Данная зависимость представлена на рис. 3, из которого следует, что режим источника тока реализуется при частоте $\omega = 1$, а режим источника

напряжения при $\omega = \frac{1}{2} \dots \frac{3\sqrt{5}}{5}$. Последнее непосредственно следует из (5), если положить $R_3 = \infty$ и $R_3 = 0$.

Выражение (5) позволяет получить значения частоты входного напряжения $e(t)$ для любой заданной величины входного тока $i_1(t)$ в момент переключения в зависимости от L_3 и R_3 .

Зависимость действующего значения напряжения на нагрузке R_3 от величины последнего показана на рис. 4, откуда следует, что в режиме источника напряжения значение последнего на нагрузке изменяется в интервале 1,125...1,225 вольт, а в режиме источника тока имеет место линейная зависимость напряжения на нагрузке R_3 от его величины.

Таким образом, возникает возможность получения двух режимов работы инвертора в широком диапазоне изменения значений нагрузки при сохранении заданного значения тока в момент коммутации. Переход от режима источника тока к режиму источника напряжения возможен при любом значении сопротивления нагрузки посредством изменения частоты коммутации ключей инвертора, согласно зависимостям на рис. 3.

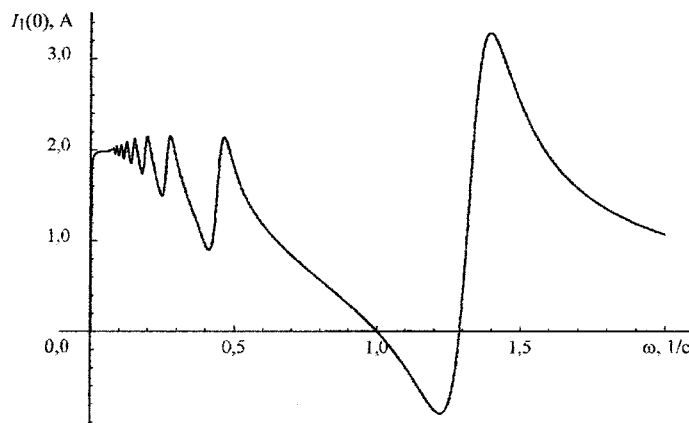


Рис. 2

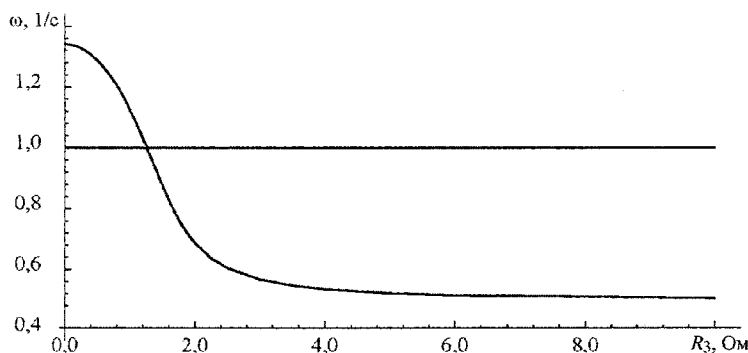


Рис. 3

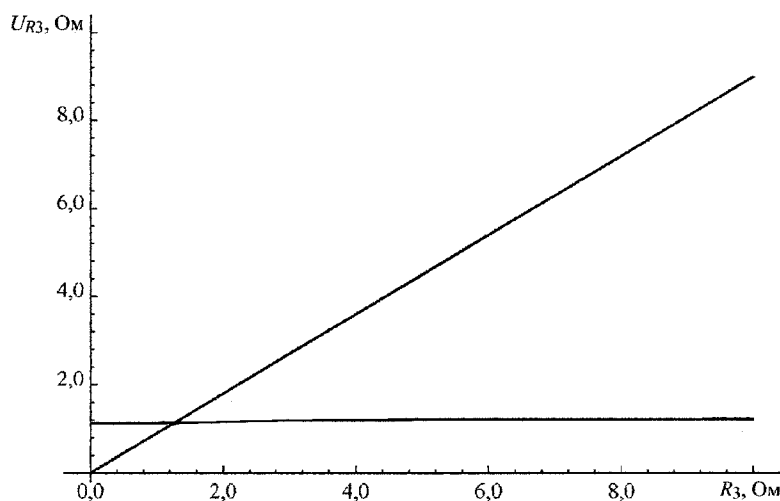


Рис. 4

Литература

- 1 Ягудин, А.Ф. Особенности применения фильтров нижних частот третьего порядка для автономных инверторов напряжения / А.Ф. Ягудин // *Электричество*. – 2010. – № 6. – С. 54–58.
2. Фролов, Н.А. О параметрической стабилизации автономного резонансного инвертора с по-

мощью нагрузочного контура третьего порядка / Н.А. Фролов, А.Ф. Ягудин // *Электричество*. – 2009. – № 7. – С. 68–69.

3. *Высокочастотные транзисторные преобразователи* / Э.М. Ромаш, Ю.И. Дробович, Н.Н. Юрченко, П.Н. Шевченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.

Поступила в редакцию 17.01.2011 г.

Исмагилов Флюр Рашитович. Доктор технических наук, профессор кафедры электро-механики, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа. Область научных интересов – теоретическая электротехника, специальные электромеханические преобразователи энергии. Контактный телефон (347) 273-77-87.

Ismagilov Flur. Doctor of Science (Engineering), a professor at the Electrical Engineering Department of Ufa State Aviation Technical University, Ufa. Research interests: theoretical electrical engineering, special electromechanical energy inverters. Tel: (347) 273-77-87.

Фролов Николай Александрович. Соискатель кафедры электро-механики Уфимского государственного авиационного технического университета, г. Уфа. Контактный телефон: (347) 230-05-99.

Frolov Nikolay. A candidate for a degree of the Electrical Engineering Department of Ufa State Aviation Technical University, Ufa. Tel: (347) 230-05-99.

Ягудин Анвар Фаридович. Аспирант кафедры электро-механики, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа. Контактный телефон: (347) 266-54-22.

Yagudin Anvar. A post-graduate student of the Electrical Engineering Department of Ufa State Aviation Technical University, Ufa. Tel: (347) 230-05-99.