ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА

Билюков Р.А., Миргородская Е.Е., Митяшин Н.П.
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Кафедра «Системотехника»
Тел. 89061537195. E-mail: bilyukov_roman@mail.ru

Аннотация. Многоуровневые автономные инверторы напряжения (МАИН) получили широкое распространение вместо инверторов тока из-за вытеснения тиристоров полевыми транзисторами. Уровни выходного напряжения МАИН формируются несколькими источниками постоянного напряжения (ИПН). В докладе ставится и решается задача одновременного управления величиной уровней напряжений нескольких ИПН МАИН общей системой нечеткого регулирования, адаптивной по отношению к величине и характеру нагрузки.

Ключевые слова: автономный инвертор напряжения, источник постоянного напряжения.

В последние десятилетия в устройствах управления электрическими приводами произошло вытеснение мощных тиристоров, как основных переключающих элементов силовых схем, полевыми транзисторами типа **IGBT** (Insulated-gate bipolar transistor). Как следствие, в схемотехнике этих устройств произошел переходу от инверторов тока к автономным инверторам напряжения (АИН). Положительным итогом этого перехода стало резкое уменьшение массогабаритных показателей, увеличение КПД и быстродействия силовых преобразователей электроприводов. В то же время обострилась проблема качества кривой напряжения, питающего электродвигатели, которое в инверторах тока значительно выше, чем у инверторах напряжения. В результате с целью улучшения качества выходной кривой стали использоваться АИН с многоуровневым формированием напряжения (ИМФН). Особенностью ИМФН является наличие нескольких источников постоянного напряжения, обеспечивающих заданное значения напряжения каждого уровня. Это предъявляет особые по сравнению с одноуровневым регулированием требования к системе управления преобразователем.

В работе рассматривается ИМФН как дискретное динамическое звено, т.е. как элемент системы регулирования выходного напряжения преобразователя.

При регулировании или стабилизации выходного напряжения ИМФН размерность вектора управляемых переменных равна числу уровней выходного напряжения k:

$$\vec{y}(\mathrm{t}) = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_k \end{bmatrix}^T,$$

где y_{i} - мгновенное значение напряжения i –го уровня.

Мгновенное значение выходного напряжения j-ой фазы ИМФН формируется в соответствии с соотношением

$$\mathrm{v}_j(t) = \sum_{i=1}^{k} f_i^{\mathrm{j}}(\mathrm{t}) y_i,$$

где $f_i^{\,j}(\mathrm{t})$ - формирующие функции.

Аналогично, токи $z_j(\mathrm{t})$, потребляемые от конденсаторов фильтров напряжения уровней, формируются из фазных токов нагрузки следующим образом:

$$\mathrm{z}_j(t) = \sum_{s=1}^{m} \mathrm{f}_s^{\,\mathrm{j}}(\mathrm{t}) x_s,$$

где x_s - фазные токи нагрузки.

Для простоты ограничимся однофазным двухуровневым инвертором (рис. 1). Будем считать, что напряжения y_i и y_i формируются на конденсаторах Г-образных LC-фильтров с параметрами L_d, R_d, C, а нагрузка инвертора активно-индуктивная с параметрами L, C.

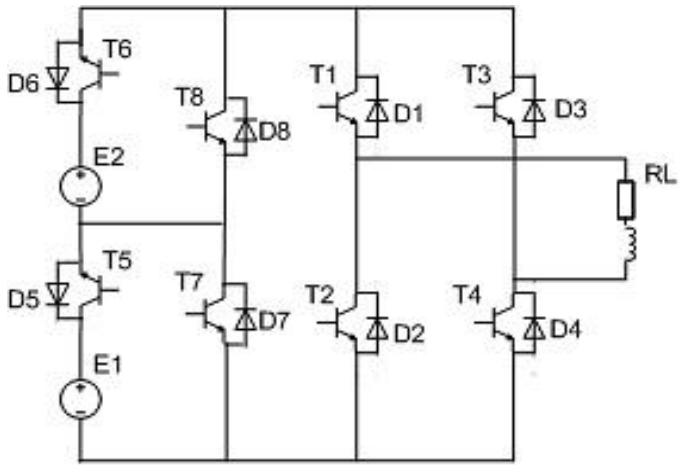

Рис.1. Схема многоуровневого инвертора

Тогда система дифференциальных уравнений инвертора имеет вид

$$\dot{\vec{\eta}} = \Xi(t)\vec{\eta} + \Lambda \overleftarrow{v},$$

где

$\vec{\eta} = \text{column}\begin{bmatrix} z_1 & z_2 & y_1 & y_2 & x_1 \end{bmatrix}$ - вектор переменных состояния инвертора;

$\overleftarrow{v} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$ - вектор управляющих напряжений;

$$\Xi(t) = \begin{bmatrix} -R_d/L_d & 0 & 1/L_d & 0 & 0 \\ 0 & -R_d/L_d & 0 & 1/L_d & 0 \\ 1/C & 0 & 0 & 0 & -f_1^1(t) \\ 0 & 1/C & 0 & 0 & -f_1^2(t) \\ 1/L & 0 & f_1^1(t) & f_1^2(t) & -R/L \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} 1/L_d & 0 \\ 0 & 1/L_d \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Вид формирующих функций $f_i^1(t)$ и $f_i^2(t)$ в данном случае показан на рис.2. Поскольку они являются периодическими кусочно-постоянными функциями, то матрица $\Xi(t)$ также периодическая кусочно-постоянная, причем на половине периода она принимает 7 различных матричных значений. Обозначим их по порядку следования через $\Xi_s, s = 1,2,..7,$ а время нахождения матрицы $\Xi(t)$ в этом состоянии через τ_s.

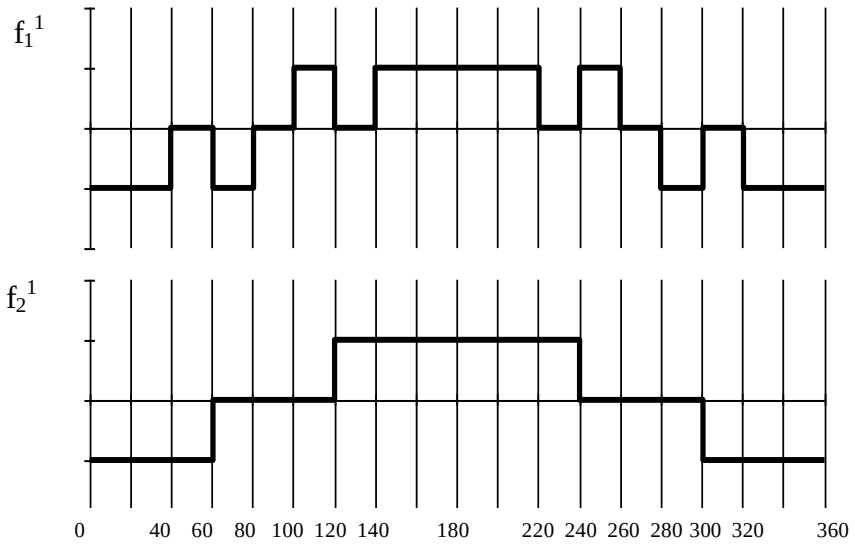

Рис.2. Графики формирующих функций за период выходной частоты

Для построения динамической модели инвертора воспользуемся методом одного интервала [1]. Для однофазных инверторов интервалом симметрии является половина периода выходной частоты. Для перехода к переменным одного интервала необходимо вместо вектора $\vec{\eta}$ рассматривать расчетный вектор $\mathrm{K}\vec{\eta}$, где в данном случае

$$\mathrm{K} = \mathrm{d}iag\,[\;1 \quad 1 \quad 1 \quad -1\;]$$

Пусть в начале k-го интервала значение расчетного вектора есть $\vec{\eta}_{\mathrm{k}}^{0}$.
Кроме того введем матрицы

$$\Omega_s = \mathrm{e}^{\Xi_s \tau_s};\ \mathrm{P}^s = (e^{\Xi_s \tau_s} - E)\Xi_s^{-1}\Lambda.$$

В предположении, что вектор управляющих напряжений $\vec{\nu}_{\mathrm{k}}$ за половину периода выходной частоты остается постоянным, значение расчетного вектора в конце k-го интервала, окажется равным

$$\vec{\eta}_{\mathrm{k}}^{7} = \Omega\vec{\eta}_{\mathrm{k}}^{0} + \mathrm{P}\,\vec{\nu}_k\,,$$

где

$$\Omega = \prod_{\mathrm{i}=7}^{1}\Omega_i;\ P = \prod_{\mathrm{i}=7}^{2}\Omega_i P_1 + \prod_{\mathrm{i}=7}^{3}\Omega_i P_2 + \prod_{\mathrm{i}=7}^{4}\Omega_i P_3 + \prod_{\mathrm{i}=7}^{5}\Omega_i P_4 + \prod_{\mathrm{i}=7}^{6}\Omega_i P_5 + \Omega_7 P_6 + P_7.$$

В этих формулах нумерация в символах произведения принята обратная, чтобы подчеркнуть порядок, в котором перемножаются матрицы.

В частности,

$$\prod_{\mathrm{i}=7}^{4}\Omega_i = \Omega_7\Omega_6\Omega_5\Omega_4.$$

В соответствии с методом одного интервала значение расчетного вектора в начале (k+1)-го интервалов связано со значением расчетного вектора в конце k-го интервала соотношением

$$\vec{\eta}_{k+1}^{0} = K\vec{\eta}_{k}^{7}.$$

Поэтому для значений расчетного вектора в начале интервалов имеет место следующее разностное уравнение

$$\vec{\eta}_{k+1}^{0} = A\vec{\eta}_{k}^{0} + B\vec{v}_{k},$$

где

$$A = K\Omega \quad и \quad B = KP.$$

Последнее разностное уравнение представляет собой дискретную динамическую модель ИМФН.

В дальнейшем эта модель может служить основой для аналитического синтеза системы стабилизации выходного напряжения многоуровневого инвертора.

Список литературы

1. Нугаев Э.К., Митяшин Н.П., Миргородская Е.Е., Щербаков А.А. Дискретные динамические модели структурно симметричных инверторов // Управление сложными системами. – СГТУ, 2009. – С. 3-9.

DYNAMIC MODEL OF MULTILEVEL INVERTER

Bilukov R., Mirgorodskaya E., Mitjashin N.

Annotation. Multi-level autonomous voltage inverter are widely used instead of the inverter due to the displacement current thyristors field-effect transistors. The levels of output voltage generated by several sources Multi-level autonomous voltage inverter. The report is formulated and solved the problem of simultaneous control the amount of voltage levels
of several common system of fuzzy control, adaptive with respect to the size and nature of the load.
Key words: self-contained voltage inverter; constant voltage source.