

Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання, озброєння та застосування

УДК 629.374.7

В.Г. Башинский, А.И. Денисов, Е.А. Бурсала, О.Л. Шаповалов

Государственный научно-испытательный центр ВС Украины, Чернигов

МАТРИЦЫ ВОЗМОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАПУСКА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА

Для известных методов регулирования выходного напряжения АИН (по длительности, импульсной и широтно-импульсной модуляции по синусоидальному закону) получены матрицы возможных состояний, содержащие закономерности изменения величин амплитуд функцией ряда Уолша-Фурье. Полученный результат позволяет представить АИН звеном замкнутой системы с учётом дискретной нелинейности в широком диапазоне регулирования.

Ключевые слова: функции Уолша, матрица возможных состояний, автономный инвертор напряжения, звено системы регулирования, система запуска ГТД.

Введение

В системе запуска газотурбинного двигателя (ГТД) военно-транспортного самолёта АН-70 установленную мощность вспомогательной силовой установки можно снизить за счёт повышения к.п.д. Для этого на основе частотно-токового управления автономным инвертором напряжения (АИН) надо поддерживать отношение момента асинхронного стартер-генератора к квадрату тока на максимальном уровне [1]. Во время запуска стартер-генератор работает в режиме асинхронного электродвигателя, управляемого посредством АИН, который выполняет две функции – энергетическую (преобразование электромагнитной энергии постоянного тока в электроэнергию переменного тока) и информационную (звено авторегулирования).

В результате реализации указанного выше закона управления в системе запуска ГТД обеспечивается минимум активных потерь. Очевидно, что качественная энергетика системы запуска ГТД неразрывно связана с показателями качества её динамики – быстродействием, перерегулированием, запасом устойчивости, характером переходного процесса. Реализация оптимальных динамических показателей системы регулирования зависит от полноты учёта особенностей АИН как информационного звена в его неразрывной связи с энергетическими процессами. Основной особенностью АИН является его нелинейность и дискретность действия, которые проявляются в процессе реализации соответствующих методов регулирования выходного напряжения – импульсного, по длительности, синусоидальной

широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Известные представления АИН звеном регулирования связаны с учётом действующего значения основной гармоники (гладкой составляющей), что априори не позволяет учесть присущую ему дискретную нелинейность.

Поэтому возникает необходимость поиска новых путей решения этой задачи. Один из них связан с отказом от использования базиса «гладких» тригонометрических функций для аппроксимации дискретного выходного напряжения АИН. Базис аппроксимирующих функций по своей форме должен быть адекватен форме аппроксимируемых сигналов. Как показано в [2] таким базисом является ряд Фурье по полной системе дискретных ортогональных функций Уолша.

Основной раздел

1. Спектр функций Уолша выходного напряжения АИН

Процедура решения поставленной задачи предусматривает предварительный анализ спектра выходного напряжения АИН в статическом режиме, что позволяет установить характер зависимостей амплитуд спектральных составляющих Уолша от возможных состояний сигнала управления. Такой же подход используется и при гармоническом анализе нелинейных систем. Решим поставленную задачу для различных способов регулирования выходного напряжения АИН.

а) В процессе импульсного регулирования полуволны выходного напряжения АИН формируются некоторым количеством высокочастотных регули-

руемых по длительности импульсов на относительном периоде \bar{T}_0 , рис. 1.

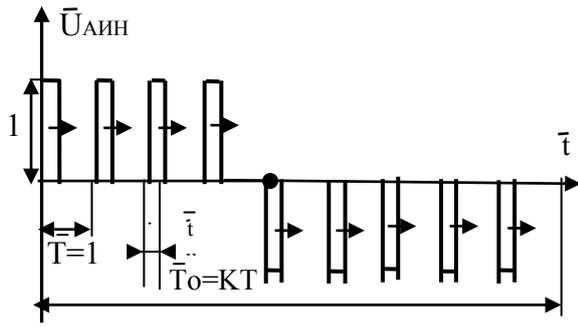


Рис. 1. Выходное напряжение АИН при импульсном регулировании

Допустим, что на периоде выходного напряжения АИН присутствуют ($K=8$) модулируемых по длительности импульсов. Найдём закономерности изменения амплитуд восьми функций Уолша, в спектре выходного напряжения АИН. Количество функций Уолша, выбираемых с учётом погрешности аппроксимации, полосы пропускания нагрузки, должно быть двоично-рациональным числом $Z=2^N$, где N – порядок системы функций Уолша. На периоде $\bar{T}=1$ учитываем $K=Z$ возможных состояний каждого из модулируемых импульсов длительностью $\Delta \bar{t} = \frac{1}{K} = 0,125$, которым на единичном периоде будут соответствовать относительные значения напряжений $\Delta \bar{U} = 0,125K$, где $K=1,2, 3 \dots 8$. Значения напряжения с учётом возможных ситуаций в процессе управления представим K -векторами, каждый из которых имеет K -тую размерность, т.е.

$$[\Delta \bar{U}_K] = \begin{bmatrix} 0,125K \\ 0,125K \\ 0,125K \\ 0,125K \\ -0,125K \\ -0,125K \\ -0,125K \\ -0,125K \end{bmatrix},$$

где учтены знаки относительных средних значений напряжений каждого из модулируемых по длительности на периоде \bar{T} импульсов по полупериодам выходного напряжения АИН. Каждому K -тому вектору средних значений выходного напряжения АИН будет соответствовать K -тый вектор амплитуд спектральных составляющих Уолша, что определяет следующее векторно-матричное произведение:

$$[A]_K^{Wal} = \frac{1}{2^N} [\Delta \bar{U}_E] \bullet [W], \quad (1)$$

где $[W]$ – матрица Уолша.

Для системы функции Уолша третьего ($N=3$) порядка матрица Уолша [2]

$$[W] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{matrix} Wal0, \bar{t} \\ Sal1, \bar{t} \\ Cal1, \bar{t} \\ Sal2, \bar{t} \\ Cal2, \bar{t} \\ Sal3, \bar{t} \\ Cal3, \bar{t} \\ Sal4, \bar{t} \end{matrix}$$

В результате реализации векторно-матричного произведения (1) для каждого из K -векторов получаем матрицу коэффициентов Уолша восьмого ($Z=8$) порядка

$$[A^{Walk}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,125 & 0,25 & 0,375 & 0,5 & 0,625 & 0,75 & 0,875 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Матрица $[A^{Walk}]$ соответствует импульсному методу регулирования выходного напряжения АИН, в спектре которого присутствует лишь функция $Sal1, \bar{t}$. Её амплитуда изменяется по линейному закону на всём интервале регулирования, который ограничен нелинейностями типа «насыщение» на своих концах. Из матрицы (2) получаем матрицу возможных состояний (МВС), в строках которой записаны коэффициенты усиления амплитуд учтённых функцией Уолша в диапазоне регулирования, равно \bar{T}_0 .

$$[MBC] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

б) Регулирование по длительности.

Как и в предыдущем случае, найдём спектр выходного напряжения АИН для восьми функций Уолша. Среднее значение выходного напряжения АИН найдём на интервале разбиения $\Delta \bar{t} = 0,125$, рис. 2, для восьми возможных состояний по управлению.

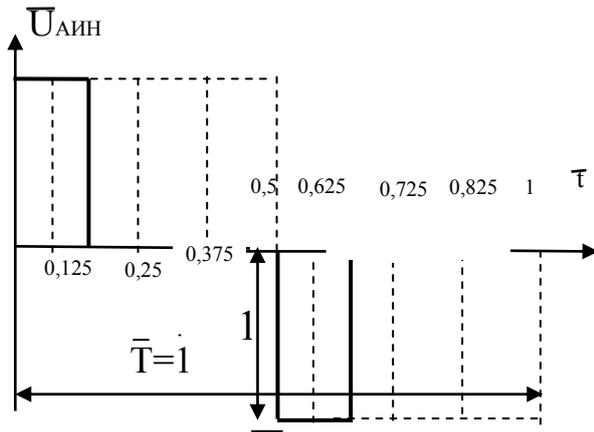


Рис. 2. Форма регулируемого по длительности выходного напряжения АИН:

$\bar{T}=1$ – период выходного напряжения;
 $\bar{U}_{\text{АИН}}=1$.

Векторы средних значений выходного напряжения АИН на интервалах разбиения имеют следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{\text{АИН}} \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{U}_{\text{АИН}} \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{\text{АИН}} \end{bmatrix}_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{U}_{\text{АИН}} \end{bmatrix}_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

В результате реализации векторно-матричного произведения (1) получаем закономерности изменения амплитуд функции Уолша в процессе регулирования по длительности, рис. 3. Видно, что в спектре выходного напряжения присутствуют четыре функции Уолша ($\text{Sal}1, \bar{t}$; Call, \bar{t} ; $\text{Sal}3, \bar{t}$; $\text{Cal}3, \bar{t}$), а остальные из учтенных функций отсутствуют.

Из рис. 3 видно, что амплитуды функций Уолша $\text{Sal}1, \bar{t}$; Call, \bar{t} ; $\text{Sal}3, \bar{t}$; $\text{Cal}3, \bar{t}$ в процессе регулирования изменяются по кусочно-линейному закону, повторяя интеграл от соответствующей функции на единичном интервале. Закономерностям, рис. 3, соответствует матрица возможных состояний коэффициентов усиления АИН.

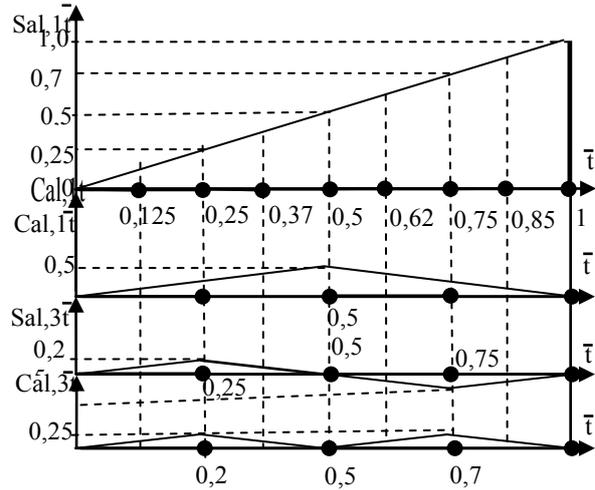


Рис. 3. Закономерности изменения амплитуд функций Уолша в процессе регулирования по длительности

$$[\text{MBC}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

в) В процессе синусоидальной ШИМ длительности импульсов, формирующих полуволны выходного напряжения АИН, изменяются по закону синуса. Для исключения субгармонических колебаний из-за фазового рассогласования частот, участвующих в ШИМ, величина несущей частоты должна не менее, чем в десять раз, превосходить величину модулирующей частоты.

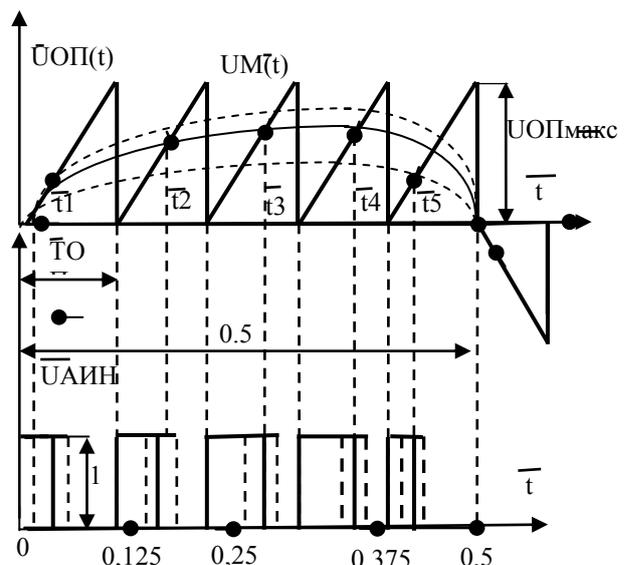


Рис. 4. Регулирование выходного напряжения АИН посредством ШИМ

На рис. 4 следующие обозначения:

- $U_{оп}(\bar{t})$ – опорное пилообразное напряжение;
- $U_M(\bar{t}) = U_{MM} \sin \varpi \cdot \bar{t}$ – положительная полуволна модулирующего напряжения;
- U_{MM} – амплитуда модулирующего напряжения;
- $\bar{U}_{АИН} = 1$ – относительная амплитуда модулируемого выходного напряжения АИН;
- $\bar{t}_1, \bar{t}_2 \dots \bar{t}_5$ – контактные точки, соответствующие моментам равенства опорного и модулирующего напряжений;
- $\bar{T}_{оп}$ – относительный период опорного напряжения.

Синусоидальное модулирующее напряжение сравнивается с опорным напряжением, в результате чего на выходе АИН формируются импульсы единичной амплитуды, длительность которых изменяется по синусоидальному закону.

Длительности импульсов регулируются за счёт изменения амплитуды модулирующего напряжения в соответствии с результатами решения трансцендентного уравнения:

$$\frac{U_{оп,мак}}{\bar{T}_{оп}}(\bar{t} - n\bar{T}_{оп}) - U_{MM} \sin \varpi \cdot \bar{t} = 0, \quad (5)$$

где $n=0, 1, 2 \dots K-1$, $K=10$ – отношение частоты опорного напряжения к частоте модулирующего напряжения; $\varpi = \omega T$, $\bar{t} = \frac{t}{T}$ – относительные значения угловой частоты и времени; T – период модулирующего напряжения; $\bar{T}_{оп}$ – относительный период опорного напряжения; $\bar{T} = 1$ – относительный период модулирующего напряжения.

Выполним разложение выходного напряжения АИН в ряд по восьми функциям Уолша для восьми дискретных значений амплитуды модулирующего напряжения. Для этого единичный период выходного напряжения АИН разбиваем на восемь интервалов длительностью $\Delta \bar{t} = 0,125$.

По результатам решения трансцендентного уравнения (5) для восьми значений модулирующего напряжения находим положения контактных точек ($\bar{t}_1, \bar{t}_2 \dots \bar{t}_{10}$), соответствующих моментам равенства модулирующего и опорного напряжения на каждом периоде его следования.

С учётом этого для восьми значений модулирующего напряжения вычисляются средние значения выходного напряжения АИН на интервалах дискретности $\frac{i}{Z} \leq \Delta \bar{t} \leq \frac{i+1}{Z}$, где $i=0, 1, 2 \dots Z-1$, Z – количество функций Уолша. Результаты вычисления представляются в виде восьми векторов, каждый из которых имеет следующий вид:

$$[\Delta \bar{U}_{АИН}]_i = \begin{bmatrix} S_1 i \\ S_2 i \\ S_3 i \\ S_4 i \\ -S_5 i \\ -S_6 i \\ -S_7 i \\ -S_8 i \end{bmatrix}.$$

Поскольку полуволны опорного и модулирующего напряжений на единичном периоде симметричны, то значения $S_1 \div S_4$ положительной полуволны близки к значениям отрицательной полуволны $S_5 \div S_8$ по абсолютной величине. Реализация векторно-матричного произведения, сводится к суммированию произведений компонент вектора на элементы строк матрицы Уолша. Проведённые вычисления показали, что, как и в случае регулирования по длительности, в спектре Уолша присутствуют четыре функции ($Sal1, \bar{t}$; $Cal1, \bar{t}$; $Sal3, \bar{t}$; $Cal3, \bar{t}$). В результате выше отмеченной симметрии амплитуды функций $Cal1, \bar{t}$; $Sal3, \bar{t}$; $Cal3, \bar{t}$ имеют вторые или же третьи порядки малости. В отличие от метода импульсного регулирования коэффициент усиления амплитуды функции $Sal1, \bar{t}$ равен 0,68, а диапазон ШИМ ограничен условием сохранения синусоидального закона изменения длительности модулируемых импульсов. Существование этого закона ограничено минимальным и максимальным уровнями изменения амплитуды модулирующего напряжения. С учётом этого для метода синусоидальной ШИМ

$$[MBC] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,68 & 0,68 & 0,68 & 0,68 & 0,68 & 0,68 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Если же есть необходимость учесть влияние функций с минимальными амплитудами ($Cal1, \bar{t}$; $Sal3, \bar{t}$; $Cal3, \bar{t}$), то MBC метода синусоидальной ШИМ будет такой же, как и в случае регулирования по длительности со своими коэффициентами усиления ненулевых строк в ограниченном диапазоне регулирования, что вызвано условием сохранения закона синусоидальной ШИМ.

В результате проведённого анализа получены MBC (3–5), в строках которых присутствуют закономерности изменения коэффициентов усиления амплитуд функций Уолша.

Вследствие этого АИН как звено системы авторегулирования можно представить параллельно

включёнными элементарными ветвями, количество которых соответствует количеству ненулевых строк МВС для различных способов регулирования выходного напряжения АИН. Каждая элементарная ветвь содержит импульсный элемент, коэффициент усиления которого определяет строка МВС и элемент формирования соответствующей функции Уолша единичной амплитуды.

2. Сравнительная оценка известного и предлагаемого способов представления АИН звеном системы регулирования

В системе запуска ГТД военно-транспортного самолёта, где задача получения высокого К.П.Д. является приоритетной, целесообразно использовать АИН с ШИМ по синусоидальному закону, которая обеспечивает минимальные амплитуды гармоник, близлежащих по частоте к основной гармонике.

Сравним традиционное представление АИН звеном системы авторегулирования с постоянным коэффициентом усиления действующего значения основной гармоники (по гладкой составляющей) с предлагаемым способом, предполагающим учёт необходимого количества функций дискретного ортогонального ряда Уолша-Фурье. В системе запуска самолёта АИН управляет работой асинхронного электродвигателя, который можно представить однопольным апериодическим звеном, т.к. его нагрузка имеет вентиляторный характер [1]. Форма напряжения на выходе АИН представляет собой дискретную квазисинусоиду. Реакцией на неё является частота вращения электродвигателя, имеющая

постоянное направление. Для учёта «вентильных свойств» электродвигателя, представленного звеном системы, на его вход подаётся не основная гармоника выходного напряжения АИН, а её действующее значение, которое по энергетическому содержанию эквивалентно постоянному воздействию. Её величина зависит от амплитуды основной гармоники, которая изменяется в процессе управления. Расчёт величины амплитуды основной гармоники выходного напряжения АИН для рассмотренных методов регулирования связан с интегрированием произведений импульсов изменяющейся длительности и базисной тригонометрической функции с последующим суммированием полученных результатов. Рассмотрим порядок расчёта действующего значения основной гармоники напряжения на выходе АИН с импульсным методом регулирования, как наиболее общим по своему содержанию. В процессе его реализации на каждом интервале $\frac{i}{Z} \leq \Delta t \leq \frac{i+1}{Z}$ положительной полуволны и на каждом интервале $0,5 + \frac{i}{Z} \leq \Delta t \leq 0,5 + \frac{i+1}{Z}$ отрицательной полуволны напряжения, где $0 \leq i \leq 0,5Z-1$, присутствуют $K=1, 2, 3 \dots Z$ импульсов длительности $\Delta t = \frac{1}{f^2}$, что определяет размерность K -того вектора средних значений выходного напряжения, рис. 1.

Если количество функций Уолша равняется Z , то для K -той ситуации действующее значение основной гармоники выходного напряжения АИН

$$U_{gik} = \frac{2}{\sqrt{2}} \left[\sum_{i=0}^{0,5Z-1} \int_{\frac{i}{Z}}^{\frac{i+K}{Z^2}} \text{Sin} \omega t \cdot dt - \sum_{i=0}^{0,5Z-1} \int_{\frac{i}{Z}+0,5}^{\frac{i+K}{Z^2}+0,5} \text{Sin} \omega t \cdot dt \right]. \quad (7)$$

По результатам интегрирования (7) можно получить зависимость действующего значения основной гармоники напряжения на выходе АИН от параметров (i, K), которые в процессе управления изменяются.

Очевидно, что эти зависимости будут нелинейными для всех методов регулирования, что приводит к необходимости их линеаризации при анализе или же синтезе системы запуска ГТД. Для этого можно применить метод наименьших квадратов или кусочно-линейную аппроксимацию.

В современной практике анализа и синтеза систем переменного тока АИН обычно представляется непрерывным звеном с постоянным коэффициентом передачи, что справедливо для бесконечно малых отклонений регулируемых параметров от стационарного состояния. В отличие от традиционного подхода, основанного на учёте бесконечно малых

отклонений действующего значения основной гармоники выходного напряжения АИН, применение аппроксимирующего базиса функций Уолша позволяет получить линейные или же кусочно-линейные зависимости амплитуд функций Уолша в широком диапазоне регулирования.

Эта особенность объясняется тем, что при вычислении амплитуд функций Уолша интегрируются произведения двух функций, формы которых адекватны друг другу – дискретное выходное напряжение АИН и дискретные функции Уолша.

Как видно из матриц (2; 6) и рис. 3, амплитуда функции S_{all}, \bar{t} линейно зависит от сигнала управления во всём диапазоне регулирования, а для функций C_{all}, \bar{t} ; S_{al3}, \bar{t} ; C_{al3}, \bar{t} (рис. 3) характерны кусочно-линейные зависимости в пределах их знакопостоянства.

Вследствие этого, АИН как звено системы, можно представить совокупностью параллельных ветвей с формирователями функций Уолша и импульсными элементами, коэффициенты которых определяются соответствующими строками МВС, что позволяет выполнить анализ процесса запуска ГТД самолёта на основе классической теории импульсных систем [3].

Предлагаемое решение будет более точным, чем решение методом основной гармоник, т.к. анализ не будет ограничен условием бесконечно малых возмущений.

При этом сохраняется дискретный характер АИН, что позволяет настроить процессы в системе запуска ГТД самолета на конечную длительность, которую задает соответствующая циклограмма. Реализация в дискретной системе процессов конечной длительности одновременно обеспечивает ее абсолютную устойчивость.

Выводы

1. Традиционное представление АИН звеном системы регулирования по действующему значению основной гармоник приводит к нелинейной зависимости его коэффициента усиления от сигнала управления, что ограничивает анализ процесса запуска ГТД областью бесконечно малых возмущений без учёта дискретности действия.

2. Аппроксимацию дискретного выходного напряжения АИН целесообразно выполнять базисом полной замкнутой системы дискретных ортогональных функций Уолша, что позволяет анализировать

систему запуска ГТД «в большом» с учётом дискретности процесса регулирования.

3. Для управления АИН в системе запуска ГТД необходимо использовать метод ШИМ по синусоидальному закону как наиболее энергоэффективный.

Список литературы

1. Денисов А.И. Концепция процесса повышения энергетической эффективности системы запуска двигателя военно-транспортного самолета / А.И. Денисов, Е.А. Бурсала // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – № 1(45). – С. 144-149.

2. Денисов Ю.О. Системи перетворювальної техніки: навч. посіб. / Ю.О. Денисов. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – 172 с.

3. Теория линейных импульсных систем / Я.З. Цыпкин – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.

Поступила в редколлегию 27.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.И. Пилипенко. Государственный научно-испытательный центр ВС Украины, Чернигов.

МАТРИЦІ МОЖЛИВИХ СТАНІВ АУТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ (АІН) У СИСТЕМІ ЗАПУСКУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА (ГТД) ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

В.Г. Башинський, О.І. Денисов, О.О. Бурсала, О.Л. Шаповалов

Для відомих методів регулювання вихідної напруги АІН (по тривалості, імпульсної і широтно-імпульсної модуляції за синусоїдальним законом) отримані матриці можливих станів, що містять закономірності зміни величин амплітуд функцією ряду Уолша-Фур'є. Отриманий результат дозволяє уявити АІН ланкою замкнутої системи з урахуванням дискретної нелінійності в широкому діапазоні регулювання.

Ключові слова: функції Уолша, матриця можливих станів, автономний інвертор напруги, ланка системи регулювання, система запуску ГТД.

MATRIX STATE PASSABLE OF AUTONOMOUS INVERTER THE GAS TURBINE ENGINE START SYSTEM MILITARY TRANSPORT AIRCRAFT

V. Bashinsky, A. Denisov, E. Bursala, O. Shapovalov

For the methods known of of the output regulation voltage DC/AC converter (duration, and pulse PWM sinusoidal) possible states obtained matrix having regularities of amplitudes of the Walsh function Fourier series. This result allows us to represent AES link closed-loop system, taking into account the discrete non-linearity over a wide control range.

Keywords: Walsh function, matrix of possible states, autonomous voltage inverter, control system unit, launch GTD system.