

время в садоводстве эта величина пока не достигнута, т.к. велик временной разрыв между закладкой насаждений и получением урожая. Кроме того, значительное время требуется для выращивания посадочного материала, проходит не один год, когда энергия тратится, и не восполняется готовой продукцией, да и энергетическая ценность плодов невелика.

В то же время, значение плодов состоит не столько в их питательной (энергетической), сколько в лечебно-оздоровительной ценности. Общеизвестно, что плоды являются источником витаминов и других жизненно важных элементов для организма человека. И все же повышение энергетической эффективности садоводства возможно за счет перехода к современным слаборослым типам садов. Эти сады должны характеризоваться быстрым вступлением в пору промышленного плодоношения и коротким периодом эксплуатации. Также следует использовать скороплодные, высокоурожайные, устойчивые к факторам внешней среды сорта, обеспечивающие получение высоких урожаев с меньших площадей. Все это позволяет повысить уровень использования вовлекаемой в производство плодов энергии и обеспечить их высокоэффективное в энергетическом отношении выращивание, снизив при этом антропогенную нагрузку на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин, Н.М. Биоэнергетическая оценка технологий производства продукции растениеводства – Мичуринск.: Наукоград, 2007. - 57с.
2. Вронский В.А. Прикладная экология: учебное пособие - Ростов н/Д.: Феникс, 2006. - 512 с.
3. Дювиньо П. Биосфера и место в ней человека (экологические системы и биосфера) - М.: Прогресс, 2003. - 270с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ БИФУРКАЦИОННОГО АНАЛИЗА ЕГО ДИНАМИКИ

Русский В.А., Михальченко С.Г.*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г.Томск

Полупроводниковые преобразователи электрической энергии относятся к системам автоматического управления с импульсной модуляцией, математическое описание которых представляется системой нелинейных дифференциальных уравнений. Основным элементом, определяющим нелинейность контура регулирования силовым преобразователем, является импульсный модулятор, особенности которого зависят в общем случае от вида модуляции [1]. Наличие нелинейности приводит к неединственности решений, а значит, возможны случаи одновременного существования различных форм выходного сигнала, определяемых коммутационной функцией КФ.

В связи с тем, что импульсно-модуляционная система всегда нелинейна, в ряде случаев, описанных в [3,4], возникает острая необходимость анализа режимов работы, их устойчивости и рассмотрения сценариев смены одного режима на другой.

За основу исследований [5], был взят стабилизатор напряжения с ШИМ, выполненный на основе понижающего преобразователя напряжения, принципиальная электрическая схема которого приведена на рис. 1.

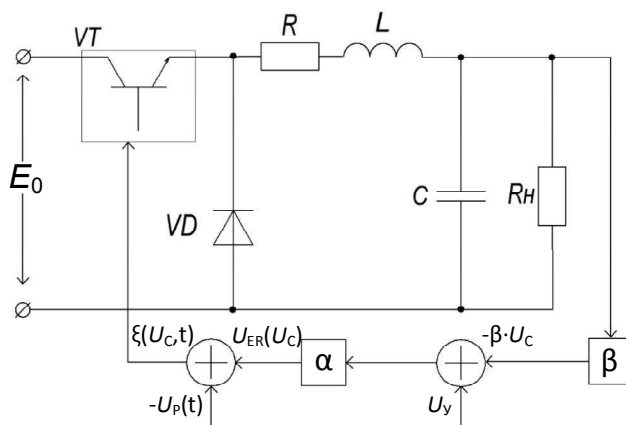


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема преобразователя

На схеме введены следующие обозначения: E_0 – напряжение питания ($E_0=1040$ В); R – сопротивление, характеризующее потери в индуктивности и в регуляторе ($R=10,6$ Ом); K_F – функция, однозначно описывающая коммутации транзистора VT и диода VD ; L и C – индуктивность и емкость фильтра преобразователя ($L=0,1$ Гн, $C=10-6$ Ф); R_H – сопротивление нагрузки ($R_H=100$ Ом); β – коэффициент передачи датчика обратной связи по выходному напряжению ($\beta=0,01$); U_y – управляющее (задающее) напряжение ($U_y=5$ В); α – коэффициент усиления звена пропорционального регулятора; частота ШИМ 10 кГц.

При построении математической модели, как и в [1], приняты следующие допущения: полупроводниковые приборы представлены идеальными моделями, конденсатор и дроссель – элементами с сосредоточенными параметрами.

Динамическая модель непрерывной части схемы замещения преобразователя описывается системой дифференциальных уравнений, представляющих собой задачу Коши:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B}(K_F(\xi(\mathbf{X}, t))), \\ \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0; \end{cases} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & -\frac{1}{CR_H} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_I = \begin{bmatrix} \frac{E_0}{L} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_{II} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} i_L \\ U_C \end{bmatrix}; \quad (1)$$

где \mathbf{A} – матрица коэффициентов; $\mathbf{B}(K_F(\xi(\mathbf{X}, t)))$ – вектор вынуждающих воздействий; $\xi(\mathbf{X}, t) = U_{ER}(\mathbf{X}, t) - U_p(t)$ – разностная функция обратной связи, описывающая разность между сигналом ошибки $U_{ER}(\mathbf{X}) = \alpha \cdot (U_y - \beta \cdot [\mathbf{X}]_2)$ и пилообразным напряжением $U_p(t)$, формируемым генератором развёртывающего напряжения; $K_F(\xi(\mathbf{X}, t)) = (1 + \text{sign}(\xi)) / 2$ – коммутационная функция.

На каждом участке линейности решение системы уравнений (1) может быть записано в виде:

$$\mathbf{X}(t) = e^{\mathbf{A}(t-t_0)} (\mathbf{X}_0 + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}(K_F)) - \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}(K_F). \quad (2)$$

Это решение зависит от начальных условий интегрирования \mathbf{X}_0 и t_0 . Каждый тактовый период ШИМ τ разделен на два основных режима, границы которых

определяются началом k -того тактового интервала ШИМ $(k-1)\tau$ и моментом коммутации транзистора t_k . Исходя из выражения (2), на первом участке постоянства структуры (от начала тактового интервала ШИМ до момента коммутации ключа) $(k-1)\tau \leq t \leq t_k$ вектор вынуждающих воздействий принимает значение B_I , а решение будет иметь вид:

$$X(t) = e^{A(t-(k-1)\tau)} (X_{k-1} + A^{-1} \cdot B_I) - A^{-1} \cdot B_I \quad (3)$$

Значение вектора $X(t)$ в момент коммутации равно:

$$X(t_k) = e^{A(t_k-(k-1)\tau)} (X_{k-1} + A^{-1} \cdot B_I) - A^{-1} \cdot B_I \quad (4)$$

Рассчитанное по формуле (4) значение будет играть роль начальных условий при интегрировании на втором участке постоянства структуры $t_k \leq t \leq k\tau$, на котором вектор вынуждающих воздействий равен B_{II} , а решение описывается следующим образом:

$$X(t) = e^{A(t-t_k)} (X(t_k) + A^{-1} \cdot B_{II}) - A^{-1} \cdot B_{II} \quad (5)$$

Значение вектора $X(t)$ на правом конце k -того тактового интервала ШИМ, вычисляемого по уравнению (5), выступает начальными условиями для расчетов на следующем $(k+1)$ -ом интервале и т.д

Упрощенная блок-схема алгоритма решения задачи Коши (1), основанная на формулах (3)-(5) показана на рис. 2. Алгоритм представляет собой цикл по количеству тактовых интервалов с вложенным в него циклом расчета времени с переменным шагом.

От начала тактового интервала расчет производится с большим шагом, равным 0.1τ . При пересечении точки коммутации ключа t_k в алгоритме предусмотрено возвращение к точке с параметрами, рассчитанными за один шаг до коммутации. От этой точки до момента коммутации расчёт ведётся с уменьшенным шагом. Данная процедура позволяет с одной стороны значительно сократить время расчётов, а с другой – увеличить точность вычисления моментов коммутации и вектора переменных состояний $X(t)$.

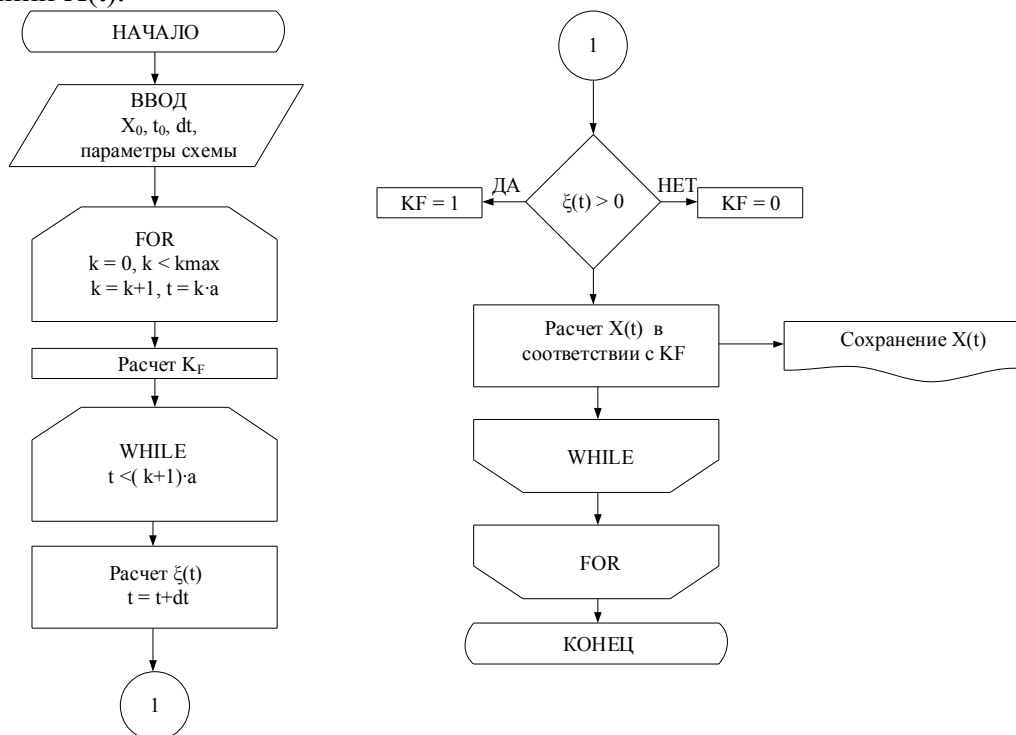


Рис. 2. Упрощенная блок-схема алгоритма получения решения системы нелинейных дифференциальных уравнений

Результаты моделирования бифуркационных явлений, встречающихся в модели преобразователя, описанного выражением (1) для различных значений коэффициента усиления α пропорционального регулятора, приведены на рис. 3.

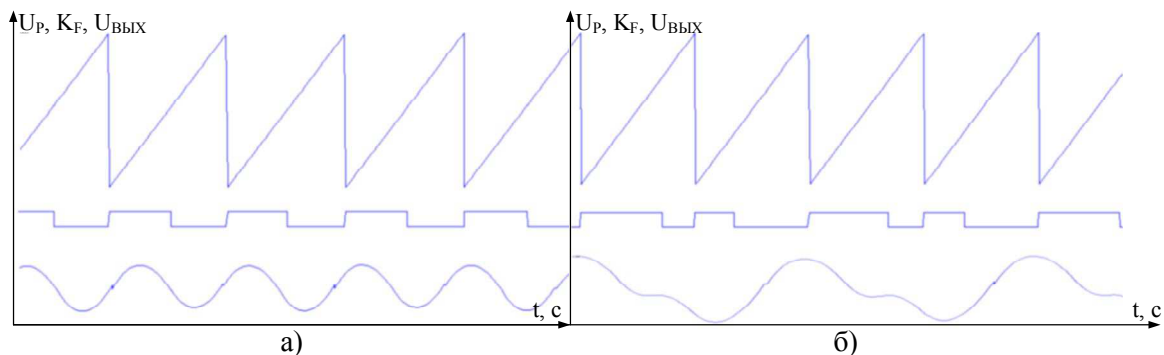


Рис. 3. Результаты моделирования: а) $\alpha = 50$; б) $\alpha = 100$

Разработанная математическая модель:

- позволяет получить точное решение системы уравнений (1), так как отсутствует погрешность численного метода. Выражения (3,5) являются точным аналитическим решением, а точность построения вектора X зависит лишь от разрядности представления числа в ЭВМ;
- может использоваться для обнаружения различных, как детерминированных, так и аномальных режимов работы понижающего преобразователя напряжения;
- позволяет исследовать переходы от одной топологической формы выходного сигнала к другой (рис.3) и анализировать причины, вызывающие бифуркационные явления подобного рода.

Исследование динамических режимов замкнутых импульсно-модуляционных систем регулирования, описываемых нелинейными уравнениями кусочно-непрерывного типа, представляет собой самостоятельную задачу для каждого вида преобразователя, различных видов регулятора, коммутационных функций и нагрузки [5, 6, 8]. В работе приводится методика и математическая модель, позволяющие проводить исследования динамики, в том числе и бифуркационный анализ.

Выводы:

Полученные результаты подтверждают возможность создания программно – аппаратных комплексов, быстродействие которых на порядок и более превосходит известные численные комплексы программ, а точность расчетов является предельной и ограничивается лишь ошибкой представления числа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников О.А. Исследование локальной устойчивости периодических режимов в нелинейных импульсных системах / О.А. Алейников, В.С. Баушев, А.В. Кобзев, Г.Я. / Электричество. – 1991. – № 4. – 16-21 с.
2. Гавриш П.Е., Михальченко С.Г., Михальченко Г.Я. [Математические модели скоростных подсистем электроприводов силового гироскопического прибора // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники](#). 2013. № 4 (30). С. 103-108.
3. Михальченко С.Г., Бородин К.В. Динамические режимы функционирования преобразователя напряжения с частотно-импульсной модуляцией // Доклады

- Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 1-1. С. 278-287.
4. Михальченко Г.Я., Михальченко С.Г., Обрусник В.П. Проблемы анализа динамических режимов функционирования устройств силовой электроники модульного типа // Ползуновский вестник. 2012. № 3-2. С. 107-116.
 5. Кобзев А.В. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей (монография) / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, С.Г. Михальченко, А.И. Андриянов // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007, – 224 с.
 6. Михальченко С.Г. Функционирование импульсно-модуляционных преобразователей в зонах мультистабильности // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 1-1. С. 259-268.
 7. Михальченко С.Г. Анализ динамических режимов функционирования модульных устройств силовой электроники // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 1-1. С. 269-277.
 8. Гаврилов А.А., Михальченко Г.Я., Михальченко С.Г. Нелинейная динамика преобразователей с многофазной импульсной модуляцией // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2009. Т. 2. С. 171-178.

АНТИРЕЗОНАНСНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 6-35 кВ

Зарипов Р.Ф., Гусаков Д.В., Хафизов Р.Р.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Трансформаторы напряжения (ТН) в электрических сетях 6–10 кВ обеспечивают безопасность измерений, питание средств учета электроэнергии, контроль изоляции оборудования, питание оперативных цепей, цепей сигнализации, автоматики и релейной защиты. Большинство расчетных счетчиков смонтировано на присоединениях 6–10 кВ. Поэтому для обеспечения надежности и точности работы к ТН 6–10 кВ предъявляются повышенные требования. В первую очередь это относится к ТН контроля изоляции, которые, кроме всех перечисленных функций, должны обеспечивать защиту от повреждений при феррорезонансных процессах.

Антирезонансным называют электромагнитный заземляемый ТН, устойчиво работающий при наличии в сети непрекращающихся феррорезонансных явлений и не вызывающий их. [1] Такие ТН дороже обычных. Поэтому их нужно применять только там, где это дает экономический эффект за счет снижения повреждаемости. Технические требования, дополнительно предъявляемые к антирезонансным ТН по сравнению с ГОСТ 1983–2001, зависят от характера феррорезонанса в той сети, для которой они предназначены.

Сети 6-35 кВ достаточно многочисленны – генераторные, собственных нужд станций, городские кабельные, сельские воздушные, карьерные и др. Они различаются способом заземления нейтрали, допустимым временем существования однофазных замыканий на землю и т.д., что приводит к большому разнообразию устойчивых феррорезонансных процессов или их возможному отсутствию.

К антирезонансным ТН, предназначенным для работы в этих сетях, предъявляются следующие требования, основанные на анализе встречающихся феррорезонансных явлений: