

Краткие сообщения

УДК 621.3.011

О РАСШИРЕНИИ ПРИЛОЖЕНИЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИНАМИКИ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЦЕПЯМ

В.С. Ляпидов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: constantin.1988@mail.ru

На основе общности математических моделей процессов в электрических и неэлектрических инерционных элементах рассмотрена принципиальная возможность расширения приложений релятивистской динамики к электрическим цепям. Рассмотрена техническая возможность приближенного выполнения соотношений по определению предельных значений тока через катушку индуктивности и напряжения на конденсаторе с помощью конверторов отрицательной индуктивности и емкости.

Ключевые слова: инерционный элемент, компенсация параметра инерционного элемента, конвертор отрицательного импеданса.

Фундаментальная общность процессов в электрических и неэлектрических инерционных элементах легко прослеживается, если обратиться, например, к соответствующим формулам для энергий. Так, энергия E_1 электрического поля конденсатора C , энергия E_2 магнитного поля катушки индуктивности L , кинетическая энергия E_3 движущегося тела массой m имеют вид

$$E_1 = 0.5Cu^2; E_2 = 0.5Li^2; E_3 = 0.5m\nu^2. \quad (1)$$

При этом емкость C конденсатора (к пластинам которого приложено напряжение u) связана с инерционностью при попытке скачком изменить напряжение (второй закон коммутации). Индуктивность L катушки индуктивности (через которую протекает ток i) связана с инерционностью при попытке скачком изменить ток через катушку (первый закон коммутации). Аналогично масса m (движущегося со скоростью ν тела) связана с инерционностью при попытке скачком изменить скорость тела (первый закон Ньютона) [1].

Таким образом, в основе формул (1) лежит одна и та же математическая модель, которую можно представить в виде

$$E = ABD^2; \forall B \in \{C, L, m\}; \forall D \in \{u, i, \nu\},$$

где E – энергия;

A – числовой коэффициент;

B – величина, характеризующая инерционность, возникающая при попытке скачком изменить величину D .

Этой же модели подчиняется и энергия E_4 в известной формуле теории относительности Эйнштейна:

$$E_4 = AmC_*^2, \quad (2)$$

где C_* – скорость света в вакууме.

Как известно из теории относительности, скорость света в вакууме C_* – это предельная, максимально возможная скорость передачи взаимодействий в природе. Проводя аналогию между формулой (2) и формулами (1), можно предположить, например, что напряжение на конденсаторе u и ток через катушку индуктивности i также имеют свои предельные значения u_* и i_* . Тогда положения релятивистской динамики могут быть распространены и на электрические цепи.

Общность математических моделей процессов, протекающих в инерционных элементах C, L, m , целесообразно представить в виде таблицы (табл. 1), где m_0 – масса покоящегося тела при $v=0$; C_0 – емкость конденсатора при $u=0$; L_0 – индуктивность катушки индуктивности при $i=0$.

Таблица 1

Общность математических моделей

Инерционные элементы		
C	L	m
Второй закон коммутации [2]. C – мера инертности напряжения на конденсаторе	Первый закон коммутации [2]. L – мера инертности тока через катушку индуктивности	Первый закон Ньютона [1]. m – мера инертности тела, движущего со скоростью v
Ток через емкость равен скорости изменения заряда q : $i(t) = C \frac{du}{dt} = \frac{dq}{dt}$	Напряжение на катушке индуктивности равно скорости изменения потокосцепления Ψ : $u(t) = L \frac{di}{dt} = \frac{d\Psi}{dt}$	Сила равна скорости изменения количества движения k (второй закон Ньютона): $F(t) = m \frac{dv}{dt} = \frac{dk}{dt}$
Зависимость емкости конденсатора от напряжения: $C = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{u_*^2}}}. \quad (3)$	Зависимость индуктивности катушки от тока: $L = \frac{L_0}{\sqrt{1 - \frac{i^2}{i_*^2}}}. \quad (4)$	Зависимость массы от скорости: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C_*^2}}}. \quad (5)$
Энергия конденсатора: $E_1 = 0.5Cu_*^2 = 0.5 \frac{C_0u_*^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{u_*^2}}} \quad (6)$	Энергия катушки индуктивности: $E_2 = 0.5Li_*^2 = 0.5 \frac{L_0i_*^2}{\sqrt{1 - \frac{i^2}{i_*^2}}} \quad (7)$	Энергия движущегося тела по формуле Эйнштейна (2): $E_4 = AmC_*^2 = A \frac{m_0C_*^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C_*^2}}} \quad (8)$

При изменении энергии на ΔE_1 емкость изменится на ΔC : $\Delta C = \frac{\Delta E_1}{0.5u_*^2} \quad (9)$	При изменении энергии на ΔE_2 индуктивность изменится на ΔL : $\Delta L = \frac{\Delta E_2}{0.5i_*^2} \quad (10)$	При изменении энергии на ΔE_4 масса изменится на Δm : $\Delta m = \frac{\Delta E_4}{AC_*^2} \quad (11)$
Максимально возможная величина напряжения на конденсаторе возможна, если $C \rightarrow 0$: $u_{\max} = \frac{q}{C} \Big _{\text{при } C \rightarrow 0} = u_* \quad (12)$	Максимально возможный ток через катушку индуктивности возможен, если $L \rightarrow 0$: $i_{\max} = \frac{\Psi}{L} \Big _{\text{при } L \rightarrow 0} = i_* \quad (13)$	Максимально возможная скорость тела возможна, если $m \rightarrow 0$: $v_{\max} = \frac{k}{m} \Big _{\text{при } m \rightarrow 0} = C_* \quad (14)$

В представленной таблице формулы (3) и (4) записаны по аналогии с известной из курса релятивистской динамики [1] формулой связи между массой и энергией (5). Аналогично формулы (6), (7) и (9), (10) записаны по аналогии с известными формулами (8) и (11) соответственно.

Если минимизация массы ($m \rightarrow 0$) и приближение к скорости C_* (согласно (14)) настоящее время пока затруднительно, то минимизация емкости ($C \rightarrow 0$) и индуктивности ($L \rightarrow 0$), а значит, и приближенное выполнение соотношений (12) и (13) технически возможно уже сегодня с помощью конверторов отрицательного импеданса (Negativ Impedanz Converter) и, в частности, конверторов отрицательной емкости и индуктивности. Указанные устройства представляют собой активные цепи имитации отрицательного импеданса, имеющие зависимость между входным импедансом $Z(j\omega)$ и импедансом нагрузки $Z_n(j\omega)$ вида [3, 4]:

$$Z(j\omega) = -k^* Z_n(j\omega),$$

где k^* – положительный безразмерный коэффициент.

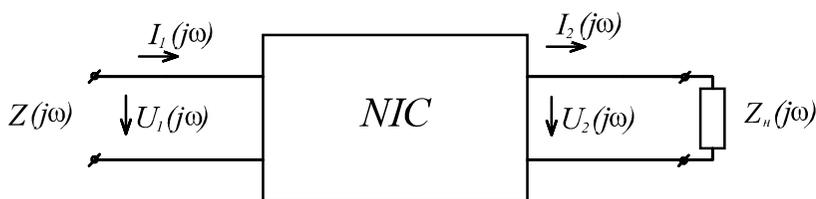
Конверторы отрицательного импеданса (NIC) удобно рассматривать как идеальные активные четырехполюсники, причем последние классифицируют в соответствии со свойствами, которые имеет их матрица обобщенных параметров цепи [5]:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}.$$

Активные четырехполюсники являются проходными четырехполюсниками, и рассматриваются только те, для которых A, B, C, D – вещественные постоянные величины. Для конверторов отрицательного импеданса $AD < 0; B = C = 0$ [5]. Для NIC по току $A > 0; D < 0$. Для NIC по напряжению $A < 0; D > 0$. Иногда понятия NIC (по току или по напряжению) сужают, ограничивая их случаем $A = 1$ или $D = 1$.

С позиции теории четырехполюсников конвертор отрицательного импеданса (NIC) (см. рисунок) полностью характеризуется коэффициентами уравнений, описывающих его поведение:

$$\begin{cases} U_1(j\omega) = a_{11}U_2(j\omega) + a_{12}I_2(j\omega); \\ I_1(j\omega) = a_{21}U_2(j\omega) + a_{22}I_2(j\omega). \end{cases}$$



Конвертор отрицательного импеданса в виде идеального четырехполюсника.

Таблица 2

Матрица параметров и коэффициенты передачи конвертора

Матрица параметров конвертора	Коэффициент передачи по току (слева направо)	Коэффициент передачи по напряжению (слева направо)
$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	-1	1
$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	1	-1

Полная компенсация импеданса емкости или индуктивности с помощью *NIC* недостижима из-за неизбежно возникающих проблем с устойчивостью работы схемы конвертора [3], поэтому при использовании схем имитации отрицательных импедансов можно говорить не о полной, а лишь о частичной (приближенной) компенсации величины емкости (индуктивности) с помощью *NIC*, т. е. здесь более уместен термин «конвергенция» (лат. *convergo* – приближение, схождение) [6]. Конвергенция (приближение) отрицательного импеданса конвертора к компенсируемой емкости (индуктивности) зависит от требований к запасу устойчивости проектируемой схемы конвертора.

Таким образом, на основе фундаментальной общности электрических и неэлектрических процессов рассмотрена принципиальная возможность расширения приложений релятивистской динамики к электрическим цепям (см. (3), (4), (6), (7), (9), (10)). Рассмотрена техническая возможность приближенного выполнения соотношений (12) и (13) по определению предельных значений тока через катушку индуктивности и напряжения на конденсаторе с помощью конверторов отрицательной индуктивности и емкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1996. – 624 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.
3. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.
4. Филановский И.М., Персианов А.Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
5. Хейнлейн В.Е., Холмс В.Х. Активные фильтры для интегральных схем. – М.: Связь, 1980. – 656 с.
6. Ляпидов В.С. Принцип конвергенции при построении высокочувствительных втогенераторных схем // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. VIII Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. – Самара: СамГТУ, 2011. – С. 184-186.

Статья поступила в редакцию 18 марта 2015 г.

ABOUT EXPANSION ADDENDAMS RELATIVISTIC DYNEMICS TO ELECTRIC CIRCUITE.

V.S. Lyapidov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

On the basis of community of mathematical model processors in electrical and non-electrical slow-response elements the possibility of principle expansion addendums of relativistic dynamics to electric circuit is considered. Technical capability of approximate realization of correlations by convention limit current value by means of inductor and voltage on the condenser by the use of negative-inductor and negative- condenser converter is shown.

Keywords: *inertia member, compensation setting of inertia member, negative-impedance converter.*

УДК 681.5:621.315

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЪЁМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСТРУДЕРА ПРИ НАЛОЖЕНИИ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ*

В.Н. Митрошин

Самарский государственный технический университет,
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматриваются вопросы автоматизации процессов изолирования проводных кабелей связи. Показано, что для качественного управления наложением полимерной изоляции на токопроводящую жилу, необходимо обеспечить стабилизацию режимных параметров работы технологического оборудования с максимально возможной точностью. Основным регулируемым параметром процесса изолирования предлагается выбирать объёмную производительность экструдера, косвенно оцениваемую по измеряемому непосредственно после кабельной головки диаметру изолированной жилы.

Ключевые слова: производство кабелей, изолирование, экструдер, объёмная производительность, автоматизация.

Важнейшей операцией изготовления проводных кабелей связи (КС) является изолирование токопроводящей жилы, осуществляемое на экструзионных линиях. Как отмечается в [1-3], при производстве КС, предназначенных для передачи сигналов с частотами порядка 600 МГц и выше, использование для управления процессом изолирования классических систем стабилизации первичных параметров изготавливаемого кабеля (диаметра изоляции и погонной ёмкости), измеряемых на выходе ванны охлаждения, по их отклонению от своих номинальных значений, принципиально не может обеспечить достижение требуемого качества кабеля как канала связи с учетом его полосы пропускания.

Для качественного управления наложением полимерной изоляции на токопроводящую жилу, в первую очередь, необходимо обеспечить стабилизацию режимных параметров работы технологического оборудования с максимально возможной точностью.

Это относится к температуре расплава полимера в зоне дозирования экструдера, давлению расплава полимера на выходе зоны дозирования и, в первую очередь, – к объёмной (или массовой) производительности экструдера.

С помощью системы распределенного управления температурой расплава полимера [5] последняя может быть стабилизирована с точностью не хуже $\pm 0,5^\circ\text{C}$, что существенно лучше известных решений.

Система стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования экструдера [6] позволяет минимизировать пульсации давления в выходной зоне не менее чем в пять раз.

* Работа поддержана грантом РФФИ (проект 15-08-04209-а).

Владимир Николаевич Митрошин (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».

Объемную производительность экструдера Q можно определить [4] как разность между прямым и обратным материальными потоками в экструдере по формуле:

$$Q = \frac{N\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2} - \frac{\Delta P \pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12l \cdot \eta}, \quad (1)$$

где N – обороты червяка (шнека) экструдера;

D – внутренний диаметр цилиндра экструдера;

h – глубина канала червяка экструдера в зоне дозирования;

φ – угол захода (подъёма нарезки) червяка;

ΔP – разность давлений расплава полимера в начале и в конце дозирующей зоны;

l – длина дозирующей зоны шнека экструдера;

η – эффективная вязкость расплава полимера.

Максимальное давление расплава полимера на выходе зоны дозирования P_{\max} может быть определено [4] по формуле (2). На практике оно в 1,2÷1,5 раза выше рабочего давления.

$$P_{\max} = \frac{\pi D N \pi L}{h^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (2)$$

Здесь L – длина шнека экструдера.

Анализ формул (1) и (2) показывает, что теоретически для регулирования объемной производительности экструдера можно использовать обороты шнека. Но при изменении оборотов червяка меняются скорость течения расплава полимера в канале шнека, мощность внутреннего тепловыделения за счет вязкого трения слоёв полимера, давление на выходе зоны дозирования, температура и эффективная вязкость расплава полимера.

С другой стороны, как будет показано ниже, объемная производительность экструдера это то же самое, что и объемная производительность на единицу длины изолированной кабельной жилы, которая зависит от скорости изолирования V .

В [7] приведена эмпирическая формула, описывающая зависимость объемной производительности экструдера на единицу длины кабельной жилы от оборотов шнека N и скорости изолирования V .

$$Q = k_1 N \frac{k_2 + k_3 V + k_4 V^2}{1 + k_2 + k_3 V + k_4 V^2}, \quad (3)$$

где k_2 безразмерная постоянная,

k_1, k_3, k_4 – постоянные коэффициенты с соответствующими размерностями.

Недостатком данной формулы является то, что из неё неясна физика процесса, т.е. качественный характер взаимосвязи скорости изолирования и объемной производительности экструдера на единицу длины изолированной кабельной жилы.

Таким образом, для регулирования объемной производительности экструдера, во-первых, необходимо иметь некоторую модель объекта управления, связывающую регулируемую величину с возможными управляющими воздействиями. Во-вторых, объемная производительность экструдера не может быть непосред-

ственно измерена в ходе технологического процесса. Непосредственно на линии изолирования можно измерять диаметр изолированной жилы $D_{из}$. Поэтому предлагается осуществлять косвенную оценку объемной производительности экструдера по диаметру изолированной жилы $D_{из}$ следующим способом. С учётом закона сохранения массы можно записать

$$Q\rho = \frac{\pi\rho V}{4}(D_{из}^2 - d^2) \quad \text{или} \quad Q = \frac{\pi V}{4}(D_{из}^2 - d^2), \quad (4)$$

где ρ – плотность расплава полимера;

$D_{из}$ – диаметр изолированной жилы;

d – диаметр медного проводника.

Преобразуя (4) с учетом (1), получаем

$$D_{из} = \sqrt{\frac{k_5 N - k_6 \Delta P}{V} + d^2}, \quad (5)$$

здесь

$$k_5 = 2\pi D^2 h \sin \varphi \cos \varphi, \quad k_6 = \frac{Dh^3 \sin^2 \varphi}{3l\eta}. \quad (6)$$

Выражение (5) связывает непосредственно измеряемый на экструзионной линии параметр $D_{из}$, напрямую определяющий оценку объёмной производительности экструдера, с возможными управляющими воздействиями, основным из которых является скорость изолирования. В отличие от известных решений для уменьшения величины транспортного запаздывания объекта регулирования, необходимо осуществлять контроль диаметра изолированной жилы сразу после кабельной головки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрошин В.Н., Кулешова Д.И. Разработка системы управления процессом изолирования кабелей связи, обеспечивающей достижение требуемого эксплуатационного качества продукции // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2015. – № 2(46). – С. 71 – 77.
2. Митрошин В.Н. Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37 – 44.
3. Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Использование системного подхода при автоматизации непрерывных технологических процессов кабельного производства // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7(28). – С. 26 – 31.
4. Яковлев А.Д. Технология изготовления изделий из пластмасс. – Л.: Химия, 1977. – 360 с.
5. Нечаев А.С., Митрошин В.Н. Структурное и численное моделирование распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2(38). – С. 26 – 32.
6. Митрошин В.Н. Синтез системы стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2011, № 3(31). – С. 237 – 239.
7. Losenicky M., Hongu J., Filev D. Modellbildung eines kabellummantelungsprozesses. – Mess. – Steuern – Regeln, 1981, №10, s. 553 – 557.

Статья поступила в редакцию 5 июня 2015 г.

REGULATION VOLUMETRIC EXTRUDER OUTPUT WHEN APPLIED CABLE INSULATION

V.N. Mitroshin

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

Questions of automation of processes of isolation of wired communication cables were considered in this article. It is shown that for quality management of overlay polymer insulation on the conductor, necessary to provide stabilization of regime parameters of technological equipment as accurately as possible. The main parameter of control of the process of insulation invited to choose volumetric output of the extruder, which indirectly assess by diameter insulated conductor measured immediately after the cable head.

Keywords: cable manufacture, isolation, extruder, volumetric productivity, automation.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 10 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 3-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Требования к оформлению статей находятся на сайте университета

<http://vestnik-teh.samgtu.ru>

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. СамГТУ. Корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова

E-mail: vest_teh@samgtu.ru

Редколлегия журнала