

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕННЫМ ПРОЦЕССОМ В МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ

Б.К. Чостковский и Д.А. Смородинов

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

Оптимизирована система автоматического управления параметрами экструдированной пористой изоляции LAN-кабелей за счет минимизации среднего значения модуля входного коэффициента отражения в рабочем диапазоне частот.

Ключевые слова: оптимизация, многоконтурная система, экструдированная изоляция, минимизация, коэффициент отражения

Изготовление кабелей связи подвержено влиянию случайных возмущающих воздействий. Поэтому, несмотря на наличие встроенных локальных систем автоматической стабилизации (САС), большинство технологических режимных параметров и контролируемых «на проход» параметров кабельного изделия имеют непостоянные по длине кабеля значения и являются случайными функциями координаты длины кабеля x . Линии с переменными по длине параметрами принято называть нерегулярными. Как правило, нерегулярность параметров кабеля по длине невелика и составляет единицы, а чаще десятые и сотые доли процента от номинальных значений. Следовательно, кабели являются слабонерегулярными линиями. Тем не менее слабое непостоянство размеров и свойств кабеля по длине решительным образом влияет на характер распространения электромагнитных волн и параметры кабеля, среди которых необходимо выделить обобщенный параметр, количественно характеризующий уровень нерегулярности кабеля и, соответственно, его качество [1].

Количество организуемых по кабелю каналов связи и длина усилительного участка (или тракта) определяются первичными и вторичными параметрами передачи. В связи с тем, что передача сигнала в кабелях связи осуществляется по многим двухпроводным цепям, расположенным в непосредственной близости друг от друга, наблюдается взаимное влияние между цепями, приводящее к появлению переходных шумов и разговоров, которые характеризуются с помощью первичных и вторичных параметров влияния [2].

Первичные и вторичные параметры передачи и параметры взаимных влияний кабелей связи определяются геометрическими и электрическими параметрами направляющей среды. Решена задача оценивания рабочей ёмкости кабеля и эквивалентной диэлектрической проницаемости среды между двумя проводниками в работе [3]. Решение данной задачи является актуальным при алгоритмизации автоматического управления параметрами экструдированной пористой изоляции с введением межконтурной связи, обеспечивающей компенсацию влияния динамической ошибки регулирования одного из параметров (диаметра или диэлектрической проницаемости изоляции) на обобщенный параметр качества кабеля (рабочую ёмкость или вол-

Чостковский Борис Константинович - профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах», д. т. н.

Смородинов Дмитрий Александрович - магистрант.

новое сопротивление) путем формирования возмущенного процесса в контуре автоматической стабилизации второго параметра (диэлектрической проницаемости или диаметра изоляции).

Оптимизация всего комплекса локальных САС должна основываться на использовании математической модели, отражающей взаимосвязь обобщенного параметра, характеризующего качество нерегулярного кабеля, с управляемыми параметрами кабеля и технологическими режимными параметрами, являющимися воздействиями объекта управления.

Для слабонерегулярной кабельной линии телеграфные уравнения, описывающие распространение волн вдоль линии, могут быть сведены к уравнению Риккати относительно входного коэффициента отражения в произвольном сечении кабеля с координатой x . Решение этого уравнения имеет вид [2]

$$\Gamma_{ex}(f) = \frac{1}{2z_0} \cdot \int_0^{\ell} z'(x) \cdot e^{-2\gamma x} dx, \quad (1)$$

где f – частота передаваемого сигнала, z_0 – номинальное значение волнового сопротивления, $z'(x)$ – производная функции волнового сопротивления по длине кабеля, x , ℓ – длина кабеля, γ – коэффициент распространения электромагнитной волны.

Известно [1], что для высоких частот передаваемого сигнала (выше 60 кГц) коэффициент затухания α много меньше коэффициента β , и коэффициент распространения γ может быть представлен в виде

$$\gamma = i\beta = i\frac{\omega}{v} = i\frac{2\pi f}{v}, \quad (2)$$

где α – коэффициент затухания, β – коэффициент фазы:

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C}, \quad (3)$$

$$z = \sqrt{\frac{L_0}{C}}, \quad (4)$$

где ω – частота, L_0 – индуктивность линии на единицу длины, C – емкость линии на единицу длины;

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon (D_{u2}a + D_{u1}b + c)}{\ln d(\epsilon_2 \epsilon D_{u2}a + \epsilon_1 \epsilon D_{u1}b + \epsilon_1 \epsilon_2 c)}, \quad (5)$$

где

$$a = (D_{u1} - d)(D_{u2} + d), \quad (6)$$

$$b = (D_{u2} - d)(D_{u1} + d), \quad (7)$$

$$c = (D_{u1} + D_{u2})(D_{u1} + d)(D_{u2} + d), \quad (8)$$

$$d = \sqrt{\frac{(D_{u1} + D_{u2})^2}{4d^2} - 1} + \frac{D_{u1} + D_{u2}}{2d}, \quad (9)$$

где d – диаметр медной жилы, D_{u1}, D_{u2} – соответствующие диаметры изоляций жил, ϵ_1, ϵ_2 – соответствующие диэлектрические проницаемости изоляций жил кабеля, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды между изолированными жилами

кабеля и внешним защитным покрытием или экраном, ε_0 – электрическая постоянная [3].

Индуктивность линии на единицу длины для витой пары LAN-кабеля [4] составляет величину

$$L_g = 4 \cdot 10^{-7} \ln \frac{2D-d}{d}, \quad (10)$$

где D – расстояние между центрами медных жил.

С учетом (4)-(10) волновое сопротивление может рассчитываться по формуле

$$z = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_{\text{экв}}}} \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad (11)$$

где $\varepsilon_{\text{экв}}$ – эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции витой пары LAN-кабеля [3]:

$$\varepsilon_{\text{экв}} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon (D_{u2}a + D_{u1}b + c)}{\varepsilon_2 \varepsilon D_{u2}a + \varepsilon_1 \varepsilon D_{u1}b + \varepsilon_1 \varepsilon_2 c}. \quad (12)$$

Цель управления САУ параметрами изоляции может быть сформулирована как переход от некоторого возмущённого уровня $z = z_0 + \Delta z$ к заданному уровню z_0 путём изменения таких регулируемых параметров, как диаметр D_{u2} и диэлектрическая проницаемость изоляции ε_{u2} . При этом на участке перехода длиной L необходимо обеспечить такой вид функции $z'(x)$, который с учётом (1) обусловит минимальный уровень среднего значения $\Gamma_{\text{ср}}(f)$ в заданном диапазоне частот $[0, f_g]$:

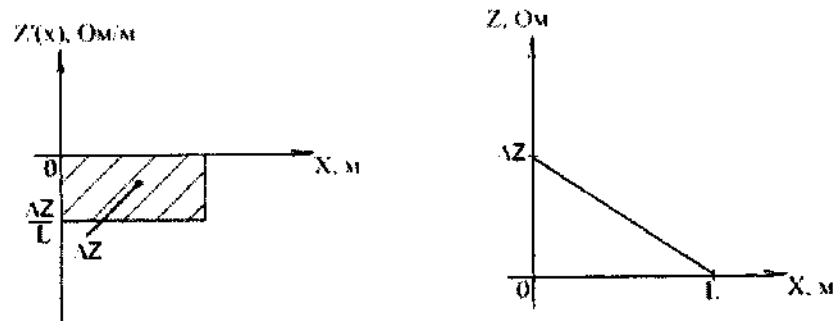
$$\Gamma_{\text{ср}} = \frac{1}{f_g} \cdot \int_0^{f_g} \Gamma_{\text{ср}}(f) df = \min, \quad (13)$$

$$\Gamma_{\text{max}} = \max |\Gamma_{\text{ср}}(f)| = \min, f \in [f_n, f_g] \quad (14)$$

где f_g – верхняя граница рабочего диапазона частот.

В известном «плавном переходе» от волнового сопротивления z до $(z + \Delta z)$ функция Δz линейна (рис. 1) [2], т. е.

$$\Delta z(x) = K \cdot x. \quad (15)$$



Р и с. 1. Остаточная нерегулярность линейного вида $z(x)$

Но данный вид нерегулярности не обязательно обеспечивает минимизацию критерия (13).

Зависимость волнового сопротивления $\Delta z(x)$ может быть достаточно точно представлена в виде

$$\Delta z(x) = K_D \cdot \Delta D_{из}(x) + K_\epsilon \cdot \Delta \epsilon_{из}(x), \quad (16)$$

где K_D и K_ϵ – чувствительности волнового сопротивления к вариациям диаметра и диэлектрической проницаемости, определяемые как частные производные от соответствующей функции волнового сопротивления. Выражение (16) позволяет определить структуру многоконтурной системы стабилизации диаметра и диэлектрической проницаемости, позволяющую минимизировать вариации волнового сопротивления $\Delta z(x)$.

Для дальнейшей минимизации остаточной нерегулярности предложено при появлении возмущающего воздействия контура диэлектрической проницаемости использовать сигнал ошибки регулирования как задающее воздействие для межконтурной системы, объектом управления которой является быстродействующий контур диаметра.

В качестве межконтурного регулятора можно использовать модифицированный апериодический регулятор, при расчете которого в математическую модель объекта управления добавляются виртуальные нули и полюса, равные, но не сокращаемые [4]. Число и величины данных полюсов и нулей определяют длительность и форму переходной характеристики возмущенного процесса, а значит, длину и форму остаточной нерегулярности, определяемых передаточной функцией замкнутой системы по возмущению. С учетом полученного в [4] выражения данной передаточной функции z -преобразование переходной функции имеет вид

$$G(z) = \frac{q_0 \cdot B(z) \prod_{i=1}^n (1 - z_i z^{-1})}{1 - z^{-1}} = \sum_{k=0}^m g(k) \cdot z^{-k}, \quad (17)$$

где $B(z)$ – числитель дискретной передаточной функции объекта управления, которым является контур стабилизации диаметра, q_0 – величина, обратная сумме коэффициентов полинома $B(z)$, z_i – введенные виртуальные полюса передаточной функции объекта управления, $g(k)$ – коэффициенты разложения изображения $G(z)$ в ряд, определяющие форму остаточной нерегулярности, которые имеют смысл отсчетов переходной функции и могут быть получены делением числителя выражения (17) на его знаменатель.

Задача об отыскании оптимальной формы $z'(x)$ – это вариационная задача. Решение её равносильно решению вариационной задачи об исследовании на экстремум следующего функционала:

$$I[w(x)] = \frac{1}{f_0} \int_{f_0}^{f_n} F[w(x)] df. \quad (18)$$

Здесь

$$w(x) = z'(x), \quad (19)$$

$$F[w(x)] = w(x) + \sum_{i=0}^n a_i [w^{(i)}(t)]^2, \quad (20)$$

где a_i – постоянные коэффициенты. Эта задача сводится к отысканию решения дифференциального уравнения Эйлера-Пуассона:

$$F_w - \frac{d}{dt} F_{w'} + \frac{d^2}{dt^2} F_{w''} - \dots (-1)^n \frac{d^n}{dt^n} F_{w^{(n)}} = 0, \quad (21)$$

где $F_{w^{(i)}}$ – частная производная от функции F по i -той производной функции $w(x)$.

Не задаваясь стационарным значением $z(x)$, опустим первое слагаемое в равенстве (20), и, учитывая индукционную и емкостную нагрузку, запишем выражение (20) в виде

$$F[w(x)] = a_0 w^2(x) + a_1 [w'(x)]^2. \quad (22)$$

Подставив его в выражение (21), получим выражение для искомой функции $w(x)$, а именно:

$$w''(x) - rw(x) = 0, \quad (23)$$

где

$$r = a_0/a_1. \quad (24)$$

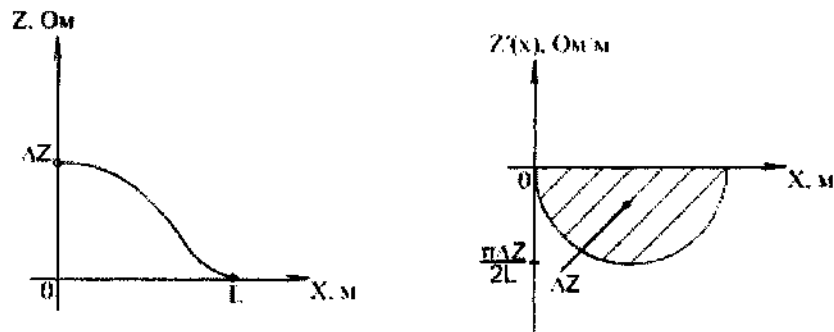
Решая это уравнение с учетом граничных условий и ограничений, найдем искомое равенство для производной волнового сопротивления:

$$z'(x) = A \sin 2\pi f x, \quad (25)$$

где

$$A = \frac{\pi \Delta z}{2L}. \quad (26)$$

Таким образом, мы получили остаточную нерегулярность гармонического вида (рис. 2).



Р и с. 2. Остаточная нерегулярность гармонического вида

Данная нерегулярность приведет к небольшим интегральным отражениям в полосе частот, однако на частоте $f_0 = \frac{gV}{2}$, где $g = \frac{1}{2L}$ произойдет «резонансное» взаимодействие сигнала с нерегулярностью, и в характеристике $\Gamma_{ex}(x)$ появится значительный пик. Поэтому закон управления, приводящий к форме переходной функции $z(x)$, можно рекомендовать только в том случае, когда характеристика кабеля на частоте f_0 не важна для заказчика, т.е. $f_0 < f_0$.

Данный вывод позволяет организовать оптимальное управление технологическим процессом производства LAN-кабеля при выборе заказчиком его параметров, в частности, рабочего диапазона частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гроднев И.И., Шварцман В.О. Теория направляющих систем связи. – М.: Связь, 1978. – 296 с.
2. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
3. Чостковский Б.К., Смородинов Д.А. Математическая модель витой пары радиочастотного кабеля объекта управления // Вестн. Самар. гос. техн. у-та. – 2008. – Вып. 1. – С. 113-119.
4. Глебович Г.В., Ковалев И.П. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов. – М.: Сов. радио, 1973. – 224 с.
5. Чостковский Б.К. Алгоритмизация терминального управления совмещенным технологическим процессом изготовления радиочастотных кабелей // Вестн. Самар. гос. техн. у-та. – 2002. – Вып. 14. – С. 33-37.

Статья поступила в редакцию 16 февраля 2009 г.

UDC 621.315

THE OPTIMIZATION CONTROL OF DISTURBANCE PROCESS IN THE MULTILoop SYSTEM

B.K. Tchostkovski, D.A. Smorodinov

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

The automatic control system of the parameters of the extruded bubble-formed insulation of LAN-cables has been optimized due to the minimization of the average input reflection coefficient within the operating frequency range.

Key words: optimization, multiloop system, extruded bubble-formed insulation, minimization, reflection coefficient.