

с отношениями  $A \subset U \times F$  и  $U \subset A \times F$ . При этом динамическая составляющая, содержащая встроенную библиотеку типов ОУК и получающая их список с характеристиками на основе статической составляющей, является общей для всех станций, в то время как статическая составляющая формируется для каждой станции отдельно. Таким образом, формирование экспериментальных моделей МПЦ каждой станции должно сводиться к синтезу её статической составляющей и интеграции с динамической. Методы данного синтеза основываются на предварительном представлении множества  $Y$  в виде смешанного, связного и взвешенного графа  $G_Y = (V, E)$ , где  $V \subset A$ ,  $E \subset \{A, Z\}$ , причём  $(v_i \in V) \rightarrow (\bar{u}_i \in U^V \subset U)$ ,  $(e_j \in E) \rightarrow (\bar{u}_j \in U^E \subset U)$ ,  $i = \overline{1, |V|}$ ,  $j = \overline{1, |E|}$ .

При этом учтён опыт применения теории графов для моделирования работы станций и станционных систем ЖАТ в работах Салседы Б., Лихачёва А. И., Бобровского В. И., Вернигоры Р. В., Козаченко Д. Н. и др. В отличие от предложенных в данных работах моделей граф  $G_Y$  характеризуется другими способами идентификации ОУК, присвоения векторов весовых коэффициентов и сущностью воспроизводимых ими свойств.

Введение графа  $G_Y$  в ЭВМ непосредственно топологической матрицей не всегда допустимо в связи с возможными большими размерами станций, для которых внедряется система МПЦ. Поэтому с целью машинного синтеза СИМ (СКМ) разработан метод, основанный на формализованном разбиении графа  $G_Y$  на пересекающиеся функционально завершённые компоненты, для каждой из которых строится исходный блок комплексной топологической матрицы (КТМ), содержащей как топологические, так и функциональные свойства своих элементов. С использованием программы, реализующей разработанные методы, были проведены лабораторные испытания систем МПЦ ряда промышленных железнодорожных станций, подтвердившие их безопасность. Адекватность разработанных методов и моделей подтверждена в ходе эксплуатационных испытаний на каждой из данных станций, результаты которых совпали с лабораторными.

УДК 621.391.63

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЗАЩИЩЕННОСТИ ОТ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ И ГИБРИДНЫХ ВОЛОКОННО-КОАКСИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В. И. КИРИЛЛОВ, Е. А. КОВРИГА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск*

Актуальность темы данного исследования обусловлена широким распространением сетей FTTH («волоконно до квартиры») в качестве абонентской «последней мили», организованных по технологии пассивных оптических сетей PON. Такие сети позволяют предложить абонентам не только услуги доступа в Интернет, IP-TV, телефонии, но и передачу широковещательных программ цифрового кабельного телевидения. Однако существуют многочисленные районы старой застройки, где телевизионные сигналы распределяются по коаксиальным линиям связи. В этом случае переход на полностью оптическую сеть не всегда является экономически оправданным, и передача телевизионных сигналов ведётся посредством «гибридных» волоконно-коаксиальных сетей. Таким образом, для каждого конкретного случая существуют различные варианты построения сети, которые отличаются количеством и типом применяемого оборудования, количеством подключенных абонентов, а также стоимостью прокладки сети. В таких условиях необходимо найти баланс между жизнеспособностью сети и её стоимостью.

Одним из нормируемых параметров при построении сетей доступа является вероятность ошибки, которая зависит от отношения мощностей полезного сигнала и шума. Методика расчета вероятности ошибки для полностью оптической сети доступа рассматривается в работе [1], а в [2] проведен подробный анализ допустимых показателей качества каждого из участков гибридной сети кабельного цифрового телевидения – оптического и коаксиального.

Определение вероятности ошибки для полностью оптической сети доступа [1] включает в себя следующие этапы промежуточных расчетов значений величин:

- шумов на выходе оптического приемника, вносимых оптическим передатчиком;
- составляющей шума на выходе оптического приемника, обусловленной наличием волоконно-оптического усилителя EDFA;
- собственных шумов оптического приемника (дробового шума и теплового шума);
- результирующего отношения сигнал/шум;
- вероятности ошибки в групповом электрическом сигнале.

Максимально допустимым значением вероятности ошибки для сетей цифрового телевидения, при которой работают восстановительные механизмы помехоустойчивого кода Рида-Соломона, является величина  $10^{-4}$  [3]. Если на входе декодера Рида-Соломона вероятность ошибки  $10^{-4}$  или ниже, то декодер снижает её до

$10^{-10}$ – $10^{-11}$ . Однако если вероятность ошибки выше, чем  $10^{-4}$ , то изображение «разваливается» и не корректируется [3].

При проектировании для уменьшения вероятности такой ошибки возможно применение следующих вариантов:

- установка волоконно-оптических усилителей;
- уменьшение длины волоконно-оптического тракта и количества подключенных абонентов (например, использование сплиттеров с меньшим затуханием);
- усложнение схемы приемного устройства для ослабления влияния тепловых шумов (например, использовать лавинный фотодиод).

При проектировании гибридных волоконно-коаксиальных сетей цифрового кабельного телевидения необходимо руководствоваться следующими положениями:

1 При расчете результирующего отношения сигнал/шум следует учитывать отношение сигнал/шум от двух участков – волоконного и коаксиального.

2 При использовании коаксиальных линий увеличивается число необходимого активного оборудования (усилителей) и снижается отношение сигнал/шум по сравнению с волоконно-оптическим трактом той же длины.

3 Для достижения оптимального соотношения цена/качество следует анализировать различные структуры сетей. Например, варьировать длиной тракта, количеством транслируемых каналов, характеристиками оборудования и т. д. с обязательным расчетом результирующего отношения сигнал/шум и стоимости оборудования и прокладки сети.

В докладе приведены примеры расчета сетей доступа с типовыми реальными параметрами: волоконно-оптической сети доступа с волоконно-оптическим усилителем EDFA и без усилителя [1]; полностью оптической сети, полностью коаксиальной сети и гибридной волоконно-коаксиальной сети [2], а также сделаны выводы о возможности реализации этих сетей на практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, В. И. Шумы в волоконно-оптических сетях кабельного цифрового телевидения / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // *Вестник связи*. – 2012. – № 4. – С. 37–41.
2. Кириллов, В. И. Анализ защищенности от собственных шумов в гибридных волоконно-коаксиальных сетях кабельного цифрового телевидения / В. И. Кириллов, Е. А. Коврига // *Вестник связи*. – 2012 (в печати).
3. Локшин, Б. А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю / Б. А. Локшин. – М.: Компания Сайрус Системс, 2001. – 446 с.

УДК 519.6+618.3.06

### ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ТРЕУГОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республики Беларусь*

При моделировании широкого круга задач прикладной электродинамики и электромагнитной совместимости находит применение метод граничных элементов. Метод основывается на сведении интегральных уравнений для неизвестного электрического заряда границ задачи к системе линейных алгебраических уравнений. Коэффициенты уравнений имеют характерный вид

$$I(M_j) = \int_{S_i} \frac{dS_Q}{R_{M_j Q}}, \quad Q \in S_i, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – центр элемента  $S_i$ ,  $P_j$  – центр элемента  $G_j$ ;  $M_j = P_j$  или  $Q_j$ .

Известно, что наиболее универсальным видом граничных элементов являются треугольные граничные элементы, применяя которые, можно аппроксимировать поверхности любой сложности. При реализации метода граничных элементов с треугольными элементами возникает затруднение, связанное с тем, что в имеющихся литературных источниках отсутствуют выражения для коэффициентов линейных алгебраических уравнений этого варианта метода. В руководствах по методу граничных элементов рекомендуется вычислять указанные коэффициенты путем численного интегрирования (1). Это существенно усложняет разработку программно-математического обеспечения.

Упростить вычисление интегралов типа (1) позволяет метод векторной алгебры. В этом методе с граничным элементом связывается локальная прямоугольная декартова система координат. Начало ее совпадает с