



*В. Е. Пониматкин, А. А. Штилевой, С. В. Чуйко*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПА РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕНН БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ РАДИОСВЯЗИ

*На основе анализа принципов размещения антенн разработан способ определения их взаимного сопротивления, положенный в основу разработанного устройства. Внедрение количественной оценки электромагнитной обстановки на основе установления значений взаимных сопротивлений позволит решить проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.*

*On the basis of the analysis of principles of antennas' placing the way of their mutual resistance's definition taken as a principle the developed device is developed. Introduction of a quantitative estimation of electromagnetic conditions on the basis of an establishment of mutual resistance's values will allow to solve a problem of electromagnetic compatibility of radio-electronic means.*

**Ключевые слова:** взаимное сопротивление, радиоэлектронные средства, электромагнитная совместимость.

**Key words:** mutual resistance, of radio-electronic means, electromagnetic compatibility.

Проблема размещения антенн различных диапазонов на ограниченной территории является сложной задачей и решается в настоящее время недостаточно эффективно. Это связано с тем, что физическое моделирование для каждого отдельного случая трудновыполнимо ввиду большого количества источников как первичных, так и вторичных излучателей при их различном режиме включений и выключений. На базовых станциях сотовой радиосвязи, в зависимости от нагрузки на каналы, устанавливаются штыревые антенны с круговой диаграммой направленности или антенны секторного излучения, хотя показатели качества таких антенн не в полной мере удовлетворяют условиям радиосвязи. Так, круговая диаграмма направленности в горизонтальной плоскости в условиях городской застройки имеет сильно изрезанную характеристику, что связано со сложением переотраженных полей и излучений от вторичных источников (в основном инженерных сооружений, не имеющих надежного заземления). Искажения диаграммы направленности приводят к снижению надежности радиосвязи при движении абонента сотовой связи.

Вторая проблема возникает при построении кластеров базовых станций. Антенны приходится разносить на достаточные расстояния для исключения их взаимного влияния. Математический расчет взаимного сопротивления между антеннами весьма проблематичен, поэтому целесообразно разработать способ экспериментальной оценки данного параметра. Использование такого метода в условиях городской застройки позволит экспериментально определить точки с наиболее низким взаимным сопротивлением. Внедрение количественной оценки электромагнитной обстановки на основе установления значений взаимных сопротивлений позволит решить проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Стандартный способ определения взаимного сопротивления  $Z_{B3}$  состоит в следующем: рассматриваются две параллельные линии, по одной из которых протекает ток  $I_{ПРДА}$ , измеряемый между генератором и линией. В другой, подверженной влиянию, измеряется наведенное напряжение  $U_{НАВ}$ . Тогда величина взаимного сопротивления  $Z_{B3}$ :

$$Z_{B3} = \frac{U_{НАВ}}{I_{ПРДА}}, \quad (1)$$

откуда наведенная ЭДС  $U_{НАВ} = Z_{B3} \cdot I_{ПРДА}$ .

Способ на основе выражения (1) имеет ряд существенных недостатков:

- необходимость вычисления значения взаимного сопротивления;
- измеренные наведенные ЭДС получают только после установки излучающих и подверженных влиянию антенн;
- взаимное сопротивление между несуществующими проводниками не может быть смоделировано математическим путем, так как данная модель будет обладать большими погрешностями, которые снижают точность.



Поэтому мы предлагаем реализовать метод, позволяющий получить непосредственное значение взаимного сопротивления  $Z_{вз}$  между антеннами, что устраняет ряд дополнительных расчетов и обеспечивает высокую точность прогнозирования. Поставленная цель может быть достигнута путем сравнения тока, возбуждаемого наведенной ЭДС  $U_{НАВ}$ , в приемной антенне, с током  $I_{ПРДА}$  в излучающей антенне. Сравнение данных токов осуществляется магнитометром с электрической системой логометра, шкала которого отградуирована в значениях взаимного сопротивления (рис. 1).

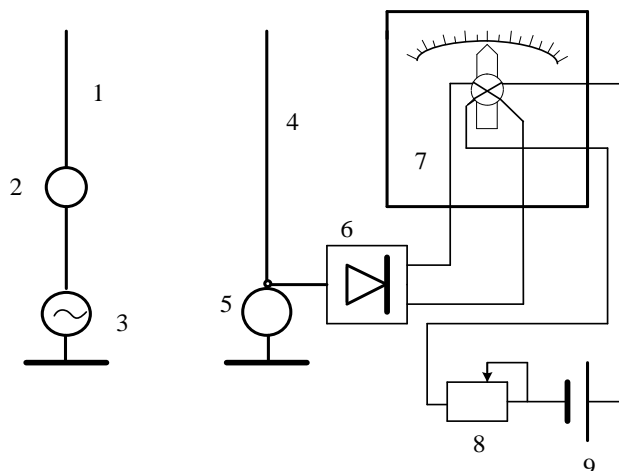


Рис. 1. Схема, реализующая предлагаемый метод

Положим, что под действием ЭДС генератора 3 в антенне 1 протекает электрический ток  $I_{ПРДА}$ , величина которого фиксируется амперметром 2. В области размещения приемной антенны 4 возбуждается электромагнитное поле, наводящее в антенне 4 ЭДС  $U_{НАВ}$ , которая измеряется электронным вольтметром 5. Взаимное сопротивление измеряется магнитоэлектрическим логометром 7, к одной из рамок которого через выпрямитель подключена подверженная влиянию антенна, а ко второй рамке логометра 7 через потенциометр 8 – источник постоянного питания.

Принцип работы логометра основан на измерении отношения двух величин токов: наведенного и влияющего. Противодействующий момент создается электрическим током. Подвижная часть логометра состоит из двух, жестко скрепленных между собой рамок.

Направления токов в рамках выбираются таким образом, чтобы вращающие моменты были направлены в разные стороны. Моменты, приложенные к рамкам, определяются по формулам:

$$M_1 = S_1 \omega_1 B \sin \psi I_1 \quad \text{и} \quad M_2 = S_2 \omega_2 B \cos \psi I_2, \quad (2)$$

где  $S_{1(2)}$  – площадь сечения рамки;  $B$  – магнитная индуктивность;  $\psi$  – угол между рамками;  $I_{1(2)}$  – ток в рамке первой и второй.

При установившемся режиме моменты (2), приложенные к рамкам, равны по величине. Поэтому  $S_1 \omega_1 B \sin \psi I_1 = S_2 \omega_2 B \cos \psi I_2$  или

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{S_2 \omega_2 B \cos \psi}{S_1 \omega_1 B \sin \psi}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что каждому значению отношения токов соответствует определенный угол отклонения подвижной части, т. е. имеет место зависимость:

$$\alpha = F \left[ \frac{I_1}{I_2} \right]. \quad (4)$$

Таким образом, в соответствии с выражением (4), магнитоэлектрический логометр изменяет положение стрелки на угол  $\alpha$  на основании отношения токов, протекающих через рамки. Как видно из всего вышесказанного, для измерения величины взаимного сопротивления между передающей и приемной антеннами требуется, чтобы через рамки логометров протекали два тока, один из которых определяется наведенной ЭДС  $U_{НАВ}$ , возбужденной в подверженной влиянию антенне, а второй – ток, равный по величине току  $I_{ПРДА}$  в передающей (влияющей) антенне. Ток, создаваемый наведенной ЭДС  $U_{НАВ}$ , протекает по одной рамке логометра; другой ток  $I_{ПРДА}$ , эквивалентный току в передающей антенне, протекает через другую рамку от используемого источника постоянного тока. При этом переменный резистор 8 позволит регули-



ровать его значение от источника тока 9. Взаимодействие этих двух токов в логометре в соответствии с зависимостью  $\alpha = F(I_1/I_2)$  вызовет поворот в магнитном поле постоянного магнита в рамках, которые жестко скреплены, на соответствующий этому взаимодействию угол. При этом стрелка, прикрепленная к рамкам логометра, покажет на шкале прибора величину взаимного сопротивления. Шкала логометра должна быть предварительно отградуирована в единицах взаимного сопротивления. Этот способ дает возможность в реальных условиях путем установки контактных проводников прогнозировать точные значения взаимного сопротивления между предполагаемыми к установке антеннами. При этом будут учтены вносимые изменения от окружающих металлических предметов. Знание взаимного сопротивления особенно важно при проектировании размещения базовых станций сотовой связи, где на небольших площадях устанавливается большое количество инженерных сооружений как отражающих, так и переизлучающих. Строгий подход к решению задачи по определению взаимного сопротивления  $Z_{B3}$  между антеннами может быть решен в соответствии с предлагаемым способом следующим образом. Прежде всего, логометр обеспечивает измерение по отношению токов: тока  $I_1$ , наведенного в измерительной антенне, подверженной влиянию, и тока  $I_2$  во влияющей антенне. На основе формулы наведенная ЭДС  $U_{НАВ}$  пропорциональна произведению тока влияющего  $I_2$  и взаимного сопротивления  $Z_{B3}$  между антеннами, т.е.  $Z_{B3} = U_{НАВ}/I_{ПРДА} = U_{НАВ}/I_2$ . Однако  $U_{НАВ} = Z_A I_1$ , где  $Z_A$  – сопротивление приемной антенны. Тогда  $Z_{B3} I_2 = Z_A I_1$ , откуда:

$$I_1/I_2 = Z_{B3}/Z_A. \quad (5)$$

Прогнозирование  $Z_{B3}$  в коротковолновом диапазоне радиоволн ( $\lambda =$  от 10 до 100 м) проводится с использованием измерительных антенн в виде штыревых длиной  $l$ , при этом отношение длины калиброванной антенны к длине волны равно:  $l/\lambda < 0,01$ . Следовательно, измерительную антенну можно заменить диполем, тогда

$$I_1/I_2 = Z_{B3}/Z_A = Z_{B3} \cdot l/Z_A, \quad (6)$$

причем  $Z_A$  имеет емкостной характер.

Значение  $1/Z_A$  в формуле (6) находится в пределах  $0,1 (\pm 0,1)$ . Однако эта величина  $1/Z_A$  при градуировке угла поворота рамок в магнитном поле нивелируется. Калибровка осуществляется экспериментально, после чего заземленный прибор размещается в точке предполагаемой установки приемной антенны, устанавливается заданный ток влияющей антенны (во влияющей антенне ток контролируется прибором в выходном каскаде радиопередатчика) и по показаниям прибора производится отсчет значения взаимного сопротивления  $Z_{B3}$ . Учитывая, что стандартные антенны могут быть десяти-, шести- и трехметровыми, а также сдвоенными, фактическое значение, прогнозируемое для установки в данном месте, определяется перемножением на длину. Если взаимное сопротивление  $Z_{B3}$  превышает существующие нормы, его величина уменьшается путем перемещения в конкретном месте.

Использование предлагаемого подхода позволит:

- прогнозировать взаимное сопротивление между антеннами, расположенными на ограниченной территории города;
- прогнозировать электромагнитную обстановку вблизи излучающих антенн;
- прогнозировать влияние вторичного излучения инженерных сооружений;
- обеспечить электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств с учетом их внеполосных излучений;
- прогнозировать размещение приемных и передающих антенн для их совместной работы на минимальном расстоянии друг от друга;
- сократить время на поиск мест размещения передающих, базовых антенн.

Структурная схема предлагаемого устройства для измерения взаимного сопротивления представлена на рисунке 2. Измерительная антенна 1 служит для измерения наведенной ЭДС принимаемого сигнала; переключатель диапазонов 3 – для выбора рабочего диапазона; блок полосовых фильтров 6 – для обеспечения работы приборов в заданном диапазоне частот; высокоомный делитель 9 – для передачи на детектор напряжения заданной амплитуды и повышения точности измерения вследствие того, что антенна полностью изолирована; электронный вольтметр 11 – для индикации наведенного напряжения; детектор 10 – для преобразования ВЧ-сигналов в НЧ-сигнал для обеспечения нормальной работы прибора; УПТ 12 – для обеспечения подачи на одну из рамок логометра тока заданной величины измерительной антенны; магнитоэлектрический логометр 13 – для сравнения тока наведенной ЭДС с известным



нам током; блок калибровки 14 — для установки стрелки логометра в нуль; токовый делитель 21 и 22 — для пропорционального уменьшения тока в обеих рамках логометра; трехсекционный переключатель 15 — для переключения логометра из положения «Измерение» в положение «Калибровка»; блок питания 16 — для моделирования токопередающей антенны; двухсекционный переключатель 23 — для пропорционального измерения сопротивления цепи одновременно в обеих рамках.

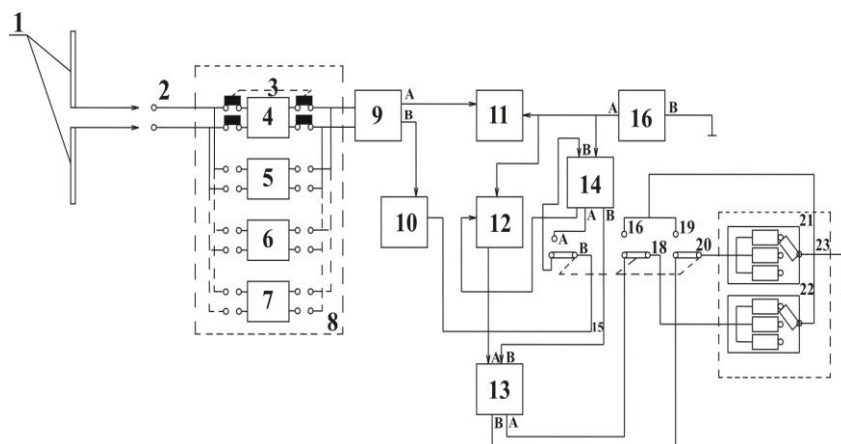


Рис. 2. Структурная схема устройства для измерения взаимного сопротивления

Полосовые фильтры выбираются для обеспечения работы в четырех диапазонах. Высокоомный делитель выбирается с расчетом того, что входное сопротивление должно быть более 300 МОм для обеспечения проведения измерения при практически полной изоляции измерительной антенны. Токовый делитель представляет собой набор сопротивлений, которые должны обеспечивать пропорциональное уменьшение тока в обеих рамках. Блок калибровки — набор потенциометров, с помощью которых обеспечивается установка измерителя в нулевую точку отсчета.

Шкала логометра должна быть откалибрована в значениях взаимного сопротивления. Эта величина является коэффициентом пропорциональности между током влияющей антенны и наведенной ЭДС. В данном устройстве следует использовать принцип компарирования. Если токи в передающей антенне достигают больших величин, необходимо с помощью токовых делителей пропорционально уменьшить их в обеих рамках логометра.

Устройства измерения взаимного сопротивления целесообразно использовать для прогнозирования электромагнитной обстановки и решения проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

#### Список литературы

1. Михайлов М. И., Разумов Л. Д. и др. Электромагнитные влияния на сооружения связи. М., 1979.
2. Винокуров В. И., Каплин С. И. и др. Электрорадиоизмерения. М., 1986.
3. Айзенберг Г. Е. Коротковолновые антенны. М., 1976.

#### Об авторах

В. Е. Пониматкин — канд. техн. наук, доц., РГУ им. И. Канта.  
 А. А. Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., РГУ им. И. Канта.  
 С. В. Чуйко — соиск., РГУ им. И. Канта.

#### Authors

V. Ponimatkin — Dr., IKSUR.  
 A. Shpilevoy — Dr., IKSUR.  
 S. Chuyko — post graduate, IKSUR.