

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 620.179.14: 621.315.23

**ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАССОПОИСКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

Бочкарев Игорь Викторович, д.т.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: elmech@mail.ru

Брякин Иван Васильевич, д.т.н., профессор, Институт автоматики и информационных технологий НАН КР, Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй 265, e-mail: bivas2006@yandex.ru

Баймырзаев Акмырза Мырзабекович, магистрант, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66

Аннотация. Рассмотрены принципы построения трассоискателей. Получено, что наибольшее применение получили индукционные трассовые методы, основанные на измерениях вторичных электромагнитных полей, которые создаются токами, наведенными в кабеле независимыми излучающими системами с помощью сторонних источников питания. Для реализации этих методов используется излучающие системы различных типов - рамочные или вибраторные антенны. Получено аналитическое выражение, позволяющее сравнить по электрическим параметрам произвольные кольцевую рамочную и ферромагнитную антенны и определить, какая из них имеет большую эффективность. Проведен сравнительный анализ эффективности рамочной и ферромагнитной антенн, который показал целесообразность использования в рассматриваемом классе индукционных установок ферритовой антенны. Применение в приемной катушке ферромагнитного сердечника позволит уменьшить в ней количество витков, увеличить чувствительность измерений и улучшить отношение сигнал/шум. Предложен вариант компоновки такой антенны, который полностью исключает влияние внешней однородной помехи, обеспечивает отсутствие емкостных токов и глубокую компенсацию ЭДС катушек в воздухе. Проведен прогноз основных направлений развития трассоискателей.

Ключевые слова: трассоискатель, индукционные трассовые методы, рамочные и вибраторные антенны, потенциальная мощность антенны, ферромагнитный сердечник.

**QUESTIONS OF CONSTRUCTION OF THE TRANSPORTING EQUIPMENT
FOR DETECTION OF UNDERGROUND ENGINEERING COMMUNICATIONS**

Bochkarev Igor Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, KSTU named after I.Razzakov, 720044, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch.Aitmatov av. 66, e-mail: elmech@mail.ru

Bryakin Ivan Vasilevich, doctor of technical sciences, professor, Institute of Automation and Information Technology National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, Chui av. 265, e-mail: bivas2006@yandex.ru

Baymyrzaev Akmyrza Myrzabekovich, undergraduate, KSTU named after I.Razzakov, 720044, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch.Aitmatov av. 66

Abstract. The principles of the construction of searchers. It was found that induction route methods based on measurements of secondary electromagnetic fields, which are created by currents induced in the cable by independent radiating systems using third-party power sources, have received the greatest application. To implement these methods, radiating systems of various types are used -

loop or dipole antennas. An analytical expression is obtained, which makes it possible to compare arbitrary ring loop and ferromagnetic antennas by electrical parameters and determine which of them has greater efficiency. A comparative analysis of the efficiency of a framework and ferromagnetic antennas was carried out, which showed the feasibility of using a ferrite antenna in the class of induction installations considered. The use of a ferromagnetic core in the receiving coil will reduce the number of turns in it, increase the measurement sensitivity and improve the signal-to-noise ratio. A variant of the arrangement of such an antenna is proposed, which completely eliminates the effect of external homogeneous interference, ensures the absence of capacitive currents and deep compensation of the EMF of the coils in the air. The forecast of the main directions of development of highway detectors was made.

Keywords: route finder, induction route methods, frame and vibrator antennas, potential antenna power, ferromagnetic core.

Введение. В настоящее время в каждом городе имеется большое количество различных подземных инженерных коммуникаций (ПИК) для обеспечения населения разнообразными коммунальными удобствами – электрической энергией, водой, газом, теплом, а также для удаления отходов (бытовых и производственных) и поверхностных сточных вод. К таким коммуникациям, в первую очередь, относятся кабельные линии электропередач для транспортировки электроэнергии, трубопроводы для транспортировки жидких веществ и газа, кабели связи и т.д. Глубина прокладки таких ПИК составляет обычно величину от 1,5 м. Выполнение указанных коммуникаций подземными обусловлено рядом их преимуществ по сравнению с воздушными: требуется меньшая территория, отчуждаемая под трассу; обеспечивается высокая надежность путем снижения возможности механических повреждений в процессе эксплуатации, а также меньшего взаимного влияния с окружающей средой; они более долговечны и дешевле в эксплуатации.

Очевидно, что в процессе эксплуатации на ПИК воздействуют различные внешние факторы, такие как агрессивность почвы, наличие блуждающих токов, климатические воздействия (влажность, резкие колебания температуры и атмосферного давления) и т.п., которые приводят к ускоренному старению изоляции и проводниковых материалов, к коррозии металлических деталей и развитию плесени. Кроме того, возможны механические повреждения за счет веса и сдвига почвы, а также при выполнении различных строительно-земляных работ. Это приводит к их периодическим отказам. Поэтому локализация повреждений с минимальными ошибками в расстоянии на местности и наименьшими затратами является важной задачей эксплуатации подземных коммуникаций. При этом следует принять во внимание, что городские ПИК имеют весьма сложную систему, которая постоянно развивается и усложняется. Поскольку планы расположения подземных коммуникаций обычно не обладают высокой точностью и достоверностью, то перед проведением ремонтных или профилактических работ необходимо определить точную трассу прокладки ПИК. Поэтому работы, направленные на разработку оборудования, предназначенного для трассировки ПИК, улучшение качества его работы и расширения информативности в настоящее время очень востребованы.

Принципы построения трассоискателей. Для поиска точной трассы залегания ПИК на практике широко используют различные способы и оборудование [1-5]. Это связано с тем, что универсального способа локации, позволяющего выявлять любые ПИК, не существует. Каждый способ и, соответственно, реализующее его устройство имеют определенную сферу применения и ряд ограничений.

Большая часть подземных инженерных коммуникаций выполняется из металлосодержащих материалов, которые являются электропроводящими. Поэтому поиск ПИК осуществляют, в основном, магнитными способами. Разновидностью этих способов является индукционный токовихревой с использованием различных видов первичного

намагничивающего поля. Их работа основана на том, что любой металлический объект, помещенный в гармоническое магнитное поле, становится источником переменного магнитного поля. Для реализации этого способа применяют трассоискатели (ТИ) различных типов. Они состоят из двух основных узлов – генератора электромагнитных колебаний и приемного устройства. Генератор является источником первичных сигналов. Приемное устройство улавливает колебания электромагнитного поля, которое создается в ПИК за счет генератора. Путем перемещения приемного устройства можно по максимуму получаемого сигнала осуществить трассировку коммуникации. Для удобства дальнейшего изложения материала, рассмотрим трассировку подземной кабельной линии электропередачи.

Существует несколько способов подачи сигнала от генератора в кабель. Самый простой способ – непосредственное включение, когда генератор подключается напрямую к кабелю через проводник (рис.1).

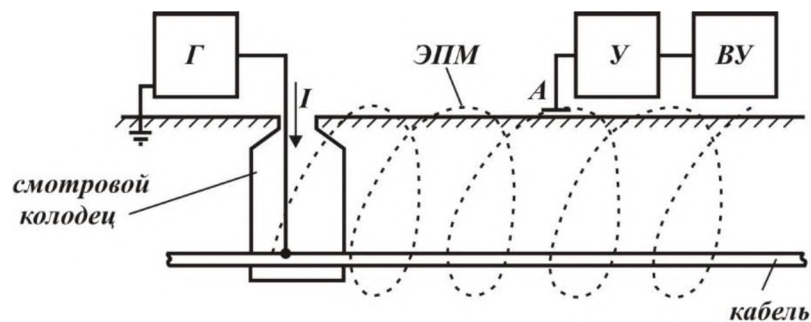


Рис.1. Непосредственное подключение генератора к кабелю

Генератор Г подключается к кабелю через смотровой колодец и на кабель подается переменный электрический ток I . Вокруг кабеля появляется электромагнитное переменное поле (ЭПМ), которое в антенне А наводится индукционный электрический ток. В усилителе У ток усиливается до необходимой величины и подается на выходное устройство ВУ (индикаторный блок). Данный метод является наиболее эффективным, поскольку сигнал на кабель передается с минимальными потерями и искажениями.

Если подключиться к кабелю напрямую нет возможности, то сигнал с генератора передается на кабель бесконтактным способом с помощью *индуктивной антенны*, которая представляет собой катушку, к которой непосредственно подключен генератор. В этом случае излучающая катушка располагается на поверхности, непосредственно над кабелем (рис.2).

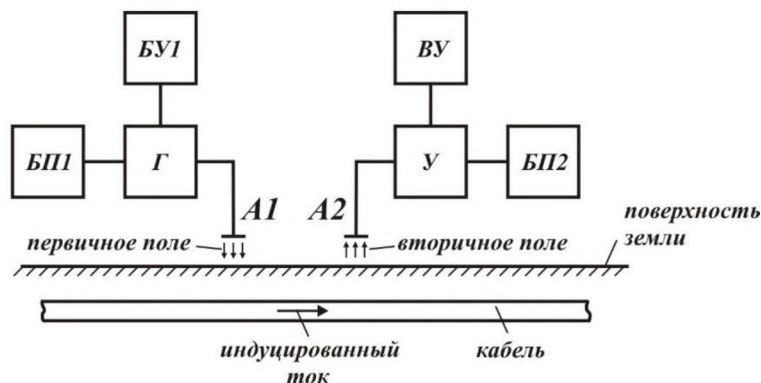


Рис.2. Принципиальная схема передачи сигнала с генератора на кабель бесконтактным способом с помощью индуктивной антенны

Передающий блок состоит из передатчика Г с блоками питания БП1 и управления БУ1 и передающей антенны А1, а приемный блок — из приемной антенны А2, усилителя У с блоком питания БП2 и выходным устройством ВУ. Передающая антенна создает первичное

переменное электромагнитное поле, которое наводит в кабеле ЭДС, за счет которой по нему будет протекать индуцированный вихревой ток. Приемная антенна регистрирует параметры вторичного магнитного (или электрического) поля, создаваемого этим током.

В качестве передающей антенны используются рамочные антенны магнитного типа в виде катушки (с ферромагнитным сердечником или без него) или вибраторные антенны электрического типа из двух разнесенных электродов.

Система передающих (генераторных) и приемных (измерительных) катушек в совокупности образуют индукционный зонд (ИЗ) [5]. Очевидно, что именно конструкция и параметры ИЗ определяют качество работы ТИ в целом. Система катушек ИЗ должна быть взаимно ориентирована так, чтобы обеспечить компенсацию прямых электромагнитных наводок в приемных катушках, а также фокусирование электромагнитного поля для повышения глубины контроля. Т.е. конструкция ИЗ должна быть такой, чтобы при отсутствии электропроводящих предметов поле передающей катушки не наводило сигнал в приемной катушке. Появление вблизи ИЗ металлического предмета, в нашем случае ПИК, вызывает появление отраженного (переизлученного) сигнала, который и регистрируется измерительной катушкой.

Следует отметить, что в ТИ, показанных на рис. 1 и 2, как передаваемый сигнал (излучаемый), так и принимаемый сигнал (отраженный) являются непрерывными, они существуют одновременно и совпадают по частоте. Основная проблема при этом заключается в таком выборе взаимного расположения катушек, при котором магнитное поле излучающей катушки в отсутствие ПИК наводит нулевой сигнал в приемной катушке (или в системе приемных катушек). Традиционно считается, что существует два основных варианта взаимного расположения катушек, при которых не происходит непосредственной передачи сигнала из одной катушки в другую: катушки с перпендикулярными и со скрещивающимися осями. Кроме того, известны системы и с несколькими приемными катушками, которые включены встречно относительно сигнала, наводимого излучающей катушкой.

Для того, чтобы разделить во времени передаваемый и принимаемый сигналы и избежать тем самым передачи сигналов между генераторной и измерительной катушками, используют импульсные ТИ, принципиальная схема которых показана на рис.3.



Рис. 3. Принципиальная схема импульсного ТИ

Передающая катушка питается импульсным напряжением и создает, соответственно, импульсное первичное поле. Проведение измерений за счет наличия блока задержки производится только после прекращения действия импульса возбуждающего поля, которое таким образом не создает помех в момент измерения переизлученного поля. В этом случае излучающая и приемная катушки могут иметь произвольное взаимное расположение. Более того, в этом случае функции этих обеих катушек может выполнять одна катушка. Сравнительный анализ описанных систем ТИ в [5].

Постановка задач исследований. Детальный анализ возможностей приведенных конструкций ИЗ показал, что в существующих вариантах установок индукционного метода обнаружения ПО [6] катушки приемных цепей зондов не имеют ферромагнитных сердечников. В связи с этим определенным интерес вызывает анализ возможности использования в качестве чувствительного элемента ИЗ ферромагнитных антенн, которые являются «усилителями» магнитного потока. С этой целью проведем сравнительный анализ

эффективности рамочной (РА) и ферромагнитной (ФА) антенн и предложим вариант компоновки ферромагнитной антенны, который полностью исключает влияние внешней однородной помехи.

Результаты работы. При сопоставлении РА и ФА антенн (магнитоприемников) критерием качества служат потенциальная мощность антенны P_a или коэффициент мощности, характеризующие ее способность преобразовывать напряженность электромагнитного поля в энергию источника электрического сигнала, с точностью до постоянного множителя, пропорциональные отношению квадрата эффективного напряжения сигнала к среднему квадрату напряжения шумов [7, 8]. Чем больше P_a , тем большую мощность сигнала может передать антенна в согласованную нагрузку.

Оценим по определенной методике РА и ФА, исходя из эффективности преобразования измеряемой напряженности поля.

Известно, что потенциальная мощность антенны равна

$$P_a = E^2/Z_a, \quad (1)$$

где E – эффективное значение ЭДС, наведенной в антенне; Z_a – модуль полного сопротивления антенны. Для рамочной антенны

$$Z_a = \sqrt{\omega L_d^2 + r_a^2} = \omega L^2 \sqrt{1 + \frac{1}{Q_a^2}}, \quad (2)$$

где L_d – действующая индуктивность; Q_a , r_a – добротность и активное сопротивление рамки. На рабочих частотах обычно $Q_a \geq 3 \div 5$, поэтому можно считать, что с погрешностью не более $2 \div 5\%$ $Z_a \approx \omega L_d$. Тогда $P_a \approx E^2/\omega L_d$.

Известно, что действующая индуктивность L_d отличается от индуктивности рамки L только на достаточно высоких частотах. Чем меньше витков у рамки, тем меньше ее собственная емкость и тем в большем частотном диапазоне можно считать, что $L_d \approx L$. Для упрощения анализа примем $L_d = L$. Это допустимо, если рассматривается одновитковая рамочная антенна [9]. Для круговых катушек индуктивность рассчитывается [10] по обобщенной формуле

$$L = \mu_0 w^2 D \Phi / (4\pi), \quad (3)$$

где w – число витков катушки; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Г/м; D – средний диаметр катушки, м; Φ – безразмерная функция относительных аксиального и радиального размеров катушки, определяемая по таблицам или графикам [8].

Влияние изоляции проводов и скин-эффекта на индуктивность в формуле (3) не учитывается. Однако действительная индуктивность незначительно отличается от расчетной, поэтому в технических расчетах ею пренебрегают. Если же требуется повышенная точность расчета, то вводят соответствующие поправки (на изоляцию и частоту [10]).

Эффективное значение ЭДС, наводимой в рамке магнитным полем с напряженностью H и частотой ω , равно

$$E = \omega \mu_0 w S_p H_{\text{эф}} \cos \alpha, \quad (4)$$

где S_p – площадь рамки; α – угол между направлением поля и нормалью к плоскости рамки.

С учетом выражений (3) и (4) получим потенциальную мощность рамочной антенны, которая не зависит от числа витков [9] рамки:

$$P_{PA} \approx E^2 / (\omega L_d) = 4\pi \mu_0 S_p^2 \omega H_{\text{эф}}^2 / (D \Phi). \quad (5)$$

Предположим, что в качестве рамочной антенны используется кольцевая катушка кругового сечения со средним диаметром D , диаметром поперечного сечения d_k (рис.4), имеющая w витков из круглого провода диаметром d_n .

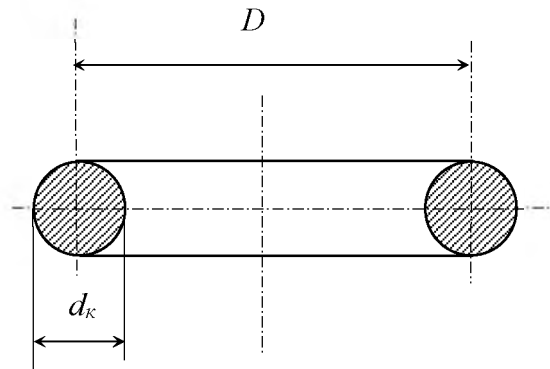


Рис.4. Модель рамочной антенны

Функцию Φ для такой рамки можно выразить аналитически формулой [8]

$$\Phi_k = 2\pi[(1 + 0,5\gamma^2) \times \ln(4\gamma^1) - 1,75 + \gamma^2], \quad (6)$$

где $\gamma = d_k / (2D)$.

При $\gamma \leq 0,1$ функцию Φ_k с погрешностью 1% можно записать в виде

$$\Phi_k \approx 2\pi[\ln(4\gamma^1) - 1,75] = 2\pi \ln(1,38D/d_k).$$

Подставляя в выражения (1) и (3) значение Φ_k , получаем индуктивность и потенциальную мощность кольцевой РА:

$$L_{РА} = \frac{1}{2} \mu_0 w^2 D \times \ln \frac{1,38D}{d_k};$$

$$P_{кРА} = \frac{\pi^2}{8} \times \frac{\omega \mu_0 D^3}{\ln \frac{1,38D}{d_k}} \times H_{эф}^2. \quad (7)$$

Потенциальная мощность РА существенно возрастает с увеличением диаметра рамки D и снижается при уменьшении диаметра поперечного сечения катушки d_k . Для одновитковой рамки значения $L_{РА}$ и $P_{кРА}$ определяются по этим же формулам с учетом того, что диаметр поперечного сечения катушки d_k становится равным диаметру провода d_w .

В качестве ферромагнитной возьмем антенну со стержневым цилиндрическим сердечником длиной l и диаметром d_c . В центральной части сердечника расположена катушка с числом витков w , длиной l_w , толщиной t и средним диаметром D_k (рис. 5). Эффективное значение ЭДС, наводимой полем H , направленным под углом α к оси сердечника (наружный диаметр катушки равен $2D_k - d_c$), запишется [11] в виде

$$E_{\Phi A} = \mu_0 \mu_T \omega S_c \times \frac{1}{3} \left(\frac{2D_k}{d_c} + \frac{d_c}{D_k - d_c} \right) \times H_{эф} \cos \alpha, \quad (8)$$

где $\mu_m = \mu_{ти}[1 \div 0,255 (l_w/l)^2]$ – относительная магнитная проницаемость сердечника; $\mu_{тц}$ – относительная проницаемость сердечника в центральном сечении сердечника, определяемая проницаемостью материала и относительной его длиной $\lambda = l/d_c$; $S_c = \pi^2/4$ – площадь поперечного сечения сердечника.

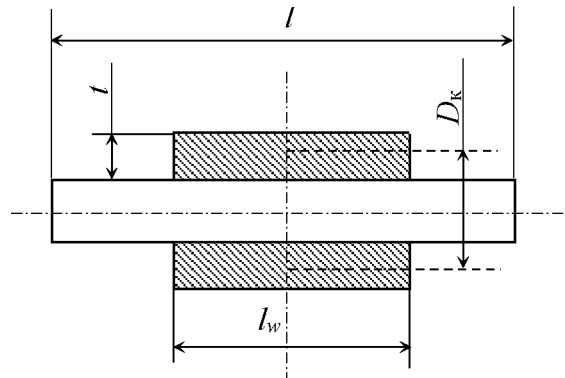


Рис.5. Модель ферромагнитной антенны

Если не учитывать часть потока, пронизывающего катушку помимо сердечника, что при $D_k \leq 1,3d_c$ дает погрешность не более 7%, и принять $\alpha = 0$, то формула для определения E упрощается и принимает вид

$$E_{\Phi A} = \mu_0 \mu_m \omega w \times (\pi l^2 / 4) \times H_{\text{эф}}. \tag{9}$$

Определим индуктивность катушки со стержневым ферромагнитным [11] сердечником:

$$L_{\Phi A} = L_0 \mu_k, \tag{10}$$

где L_0 – индуктивность катушки без сердечника, определяемая по формуле (1); $\mu_k = \mu_m k'_D k_{m.c}$ – относительная магнитная проницаемость катушки; k'_D – коэффициент, учитывающий различие диаметров витков катушки и сердечника; $k_{m.c}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение магнитного сопротивления потоку, обусловленное введением сердечника, и определяемый соответственно для длинной ($l_w \geq 0,2l$) и короткой ($l_w < 0,2l$) катушек по формулам

$$k_{m.c.k} \approx 0,25 + 0,625 l_w / l; \quad k_{m.c.d} \approx 0,1 + 1,6 l_w / l. \tag{11}$$

Для определения индуктивности L_0 круговой катушки прямоугольного сечения функции Φ [10] определяется по графику зависимости Φ от относительных аксиального $\alpha = l_w / D_k$ и радиального $\rho = t / D_k = (D_k - d_c) / (2D_k)$ размеров катушки.

Подставляя значения L_0 и μ_k в формулу (10) для катушки прямоугольного сечения и числом витков w , получаем

$$L_{\Phi A} = \mu_m k'_D k_{m.c} [\mu (4\pi)] w^2 D_k \Phi. \tag{12}$$

Потенциальная мощность ферромагнитной антенны

$$P_{\Phi A} \approx \frac{E^2}{\omega L_{\Phi A}} = \frac{\mu_0 \mu_m \omega \pi^3 d_c^4}{4 k'_D k_{m.c} D_k \Phi} H_{\text{эф}}^2. \tag{13}$$

Для сравнения эффективности РА и ФА найдем отношение $P_{кРА}$ и $P_{\Phi A}$ при одинаковых $H_{\text{эф}}$ и ω :

$$\frac{P_{кРА}}{P_{\Phi A}} = \frac{\pi^2 \omega \mu_0 D^3 \times 4 k'_D k_{m.c} D_k \Phi}{8 \ln \left(\frac{1,38D}{d_k} \right) \times \mu_0 \mu_m \omega \pi^3 d_c^4} = \frac{k'_D k_{m.c} D^3 D_k \Phi}{2 \pi \mu_m d_c^4 \ln \left(\frac{1,38D}{d_k} \right)}. \tag{14}$$

Полученное выражение позволяет сравнить по электрическим параметрам произвольные кольцевую рамочную и ферромагнитную антенны и определить, какая из них имеет большую эффективность.

Сопоставительный анализ эффективности РА и ФА, согласно полученному выражению (14), показывает целесообразность использования в рассматриваемом классе индукционных установок ферритовой антенны. Применение в приемной катушке ИЗ ферромагнитного сердечника позволит уменьшить в ней количество витков, увеличить чувствительность

измерений и улучшить отношение сигнал/шум. Следовательно, при разработке индукционных трассоискателей датчик целесообразно выполнять на базе ферритовой антенны.

Исследования показали, что на сердечнике антенны целесообразно располагать две приемные катушки, имеющие одинаковую форму, размеры и количество витков обмотки. В этом случае одна из катушек выполняет функции компенсационной обмотки по случайному сигналу.

Обозначим индуктивность и активное сопротивление компенсационной обмотки как L_k и R_k , приняв в качестве компенсационного напряжения индуцируемую в ней ЭДС E_k , а индуктивность и активное сопротивление приемной обмотки как L_n и R_n . По предположению $L_k=L_n$, $R_k=R_n$, а, следовательно, фазовое условие баланса $L_k/L_n = R_k/R_n = \tau$ соблюдается при подключении компенсационной катушки параллельно приемной катушке, если параметр $\tau=1$. Последнее требование означает, что амплитудное условие баланса $U_{k0}/E_{n0}=\tau$ будет выполнено, если только ЭДС приемной и компенсационной катушек равны

$$E_{k0}=E_{n0}. \quad (15)$$

На практике последнее равенство можно обеспечить, располагая эти катушки взаимно ортогонально относительно генераторной катушки.

ЭДС приемной \dot{E}_n и компенсационной \dot{E}_k катушек можно выразить в следующем виде

$$\dot{E}_n = \dot{E}_{n0} + \Delta\dot{E}_n; \quad \dot{E}_k = \dot{E}_{k0} + \Delta\dot{E}_k, \quad (16)$$

где \dot{E}_{n0} и \dot{E}_{k0} – ЭДС приемной и компенсационной катушек в воздухе; $\Delta\dot{E}_n$ и $\Delta\dot{E}_k$ – приращение этих величин под воздействием исследуемой среды.

Тогда напряжение, появляющееся на выходе этой антенны под воздействием среды, определится как половина разностного приращения ЭДС катушек:

$$\dot{U} = 0,5(\Delta\dot{E}_n - \Delta\dot{E}_k). \quad (17)$$

Согласно приведенному выражению, предлагаемый вариант компоновки ферромагнитной антенны полностью исключает влияние внешней однородной помехи, обеспечивает отсутствие емкостных токов и глубокую компенсацию ЭДС катушек в воздухе.

Прогноз перспектив развития трассоискателей. Проведенный анализ показал, что в ближайшее время для кабелеискателей трудно ожидать положительных перспектив в плане кардинального скачка их эксплуатационных характеристик, в частности, глубины обнаружения подповерхностных объектов. Практически можно считать разрешенной задачу отделения (дискриминацию) нежелательных сигналов, вызванных так называемым металлическим “мусором” (алюминиевая фольга, железные и алюминиевые технические отходы, ржавчина и т.п.). Такая дискриминация основана на обработке сигналов от двух каналов электронной части кабелеискателя и по своей сути является сортировкой сигналов, отраженных от различных объектов, по фазе.

Широкое распространение получила компьютеризация кабелеискателей, точнее говоря, применение КМОП-микропроцессорной техники в совокупности с многофункциональными жидкокристаллическими дисплеями и GPS системой [12]. Справедливости ради следует отметить, что применение микроконтроллера дает только всевозможные удобства пользователю, не улучшая, по сравнению с аналогичным прибором без микропроцессора, основные параметры.

Основное внимание при разработке кабелеискателей следует сосредоточить на селективности по металлам, а точнее говоря, по типам обнаруживаемых объектов. Активность разработок ведущих зарубежных фирм, выпускающих электронные кабелеискатели, в последние годы была сконцентрирована именно вокруг данной задачи. Однако, несмотря на очевидный прогресс в разработках ведущих фирм, можно сказать, что существует новое актуальное направление, в котором следует ожидать дальнейших качественных изменений. И это направление также связано с улучшением селективности кабелеискателей, то есть с их способности различать те или иные металлы.

При разработке такого прибора может быть использован известный научный факт: по анализу частотной характеристики отраженного сигнала достаточно точно определяется

принадлежность неизвестной мишени к проводящему материалу того или иного типа. Следовательно, такой прибор в принципе не может работать на гармоническом (синусоидальном) сигнале фиксированной частоты. Остаются два варианта – изменять частоту и регистрировать частотную характеристику, либо излучать не гармонический сигнал, а сигнал со сложным спектром, и регистрировать одновременно компоненты этого спектра в отраженном сигнале.

Первый из этих вариантов требует достаточно длительной во времени процедуры анализа частотной характеристики сигнала, что неприемлема для мобильных приборов поиска. Второй вариант представляется гораздо более предпочтительным, так как одновременный анализ компонент спектра экономит время. Более удобна и его практическая реализация: по своей схемотехнике прибор может быть аналогичным кабелеискателям индукционного типа по принципу "передача-прием", с разницей лишь в форме излучаемого сигнала, количестве каналов и устройстве обработки информации. Сформировать излучаемый сигнал для такого прибора также несложно. Простейшим решением является генерирование сигнала напряжения прямоугольной формы (меандр), имеющего линейчатый спектр из нечетных гармоник.

Излучающая катушка будет по-разному преобразовывать различные компоненты спектра подаваемого на нее сигнала напряжения в ток ввиду индуктивного характера своего импеданса. Для того, чтобы чувствительность по каналам, соответствующим различным линиям спектра сигнала, была одинаковой, целесообразно использовать не меандр, а сигнал более сложной формы, у которого высокочастотные линии спектра имеют большую амплитуду. Вполне вероятно, что для предлагаемого прибора нового типа потребуется не столь редкий линейчатый спектр, как у меандра. В данном случае универсальным решением может оказаться цифровой генератор псевдослучайной последовательности на сдвиговом регистре небольшой длины (в сочетании с перемножением на меандр несущей частоты). Формирование таких сигналов вполне реализуемо цифровыми методами как с помощью микропроцессоров, так и с помощью обычных микросхем низкой степени интеграции.

Использование достижений современной микроэлектроники и цифровой микропроцессорной техники открывает определенные перспективы для разработки варианта реализации кабелеискателя нового типа. Его основная идея заключается в переноске "центра тяжести" с аналоговой части прибора на цифровую. Анализ спектра отраженного сигнала может быть реализован программно с помощью микропроцессора. В данном случае рост количества анализируемых линий спектра не будет приводить к дополнительным аппаратным затратам. Такой кабелеискатель будет содержать микропроцессорный микроконтроллер, 16-разрядный АЦП, предварительный усилитель, выходной формирователь, устройство индикации. Допустимая степень сложности обработки информации будет зависеть от размера программы (от объема ПЗУ и ОЗУ) и от производительности микропроцессора (определяется допустимой мощностью, потребляемой от аккумулятора).

Выводы. 1. Получено аналитическое выражение, которое позволяет сравнить по электрическим параметрам произвольные кольцевую рамочную и ферромагнитную антенны и определить, какая из них имеет большую эффективность.

2. Предложен вариант компоновки ферромагнитной антенны, который полностью исключает влияние внешней однородной помехи, обеспечивает отсутствие емкостных токов и глубокую компенсацию ЭДС катушек в воздухе.

3. Проведен прогноз основных направлений развития трассоискателей.

Список литературы

1. Щербаков Г.Н. Обнаружение скрытых объектов. - М.: Арбат-Информ, 2004. – 138 с.
2. Щербаков Г.Н. Параметрическая локация – новый метод обнаружения скрытых объектов. /Специальная техника, 2000, №4, с.52 – 58.

Известия КГТУ им. И.Раззакова 51/2019

3. Никитин О.Р., Кучин С.И. Обнаружение скрытых объектов электромагнитно-акустическим методом // Методы и устройства передачи и обработки информации: межвузовский сборник научных трудов. – СПб: Гидрометеиздат. – 2006. – Вып. 7. – С. 35-38.

4. Пилягин В.В. Радиолокационный измеритель местоположения скрытых под поверхностью объектов // Радиотехника. – 2001. – № 5. – С.41-47.

5. Адаменко М.В. Металлоискатели. – Изд-во: ДМК-пресс, 2006. – 97 с.

6. Брякин И.В. Методы и средства подповерхностного зондирования // Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2006. – С.116–126.

7. Гонтарь И.М., Мизюк Л.Я. Сравнение параметров низкочастотных рамочных и ферромагнитных антенн // Отбор и передача информации. – Киев: Наукова думка, 1977. – Вып.47. – С. 66–74.

8. Карандеев К.Б., Гриневич Ф.Б. О расчете антенны для геофизических исследований методами естественного электромагнитного поля // Физика Земли. – М.: Изв. АН СССР, 1965. – № 4. – С. 97–101.

9. Гонтарь И.М., Мизюк Л.Я., Ничога В.А. Одновитковые рамочные магнитоприемники // Геофизическая аппаратура. – Л.: Недра, 1975. – Вып. 57. – С. 65–71.

10. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. – М.: Энергия, 1970. – 415с.

11. Мизюк Л.Я. Элементы транзисторной измерительной аппаратуры индуктивной электроразведки. – Киев: Наукова думка, 1970. – 280 с.

12. Верзунов С.Н., Бочкарев И.В. Разработка программного компонента трассоискателя на базе устройства сбора данных Л КАРД Е502 // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. № 2(39). – С. 42-48.