Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 1, 1972 г.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ПЕРЕДАЧЕЙ ИНФОРМАЦИИ ПО НЕИЗОЛИРОВАННЫМ ПРОВОДНИКАМ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Н. В. Семевская, В. В. Масленникова

На горных предприятиях Советского Союза успешно применяются системы радиосвязи ПАВС-2М, Недра-II, Шахтер-II и др. В настоящее время предпринимаются попытки создания аппаратуры для измерения и передачи информации о динамике производственных процессов с использованием радиоканалов связи. Как известно, дальность передачи и надежность канала связи в условиях горных предприятий значительно повышаются при наличии в выработках металлических направляющих. Блок-схема системы для измерения смещений горного массива в труднодоступных зонах горных выработок с передачей информации по неизолированным металлическим направляющим состоит из устройства измерения и передачи *УИП* (рис. 1), элементов согласования с линией на приемном и передающем конце и станции приема и регистрации *СПР*.

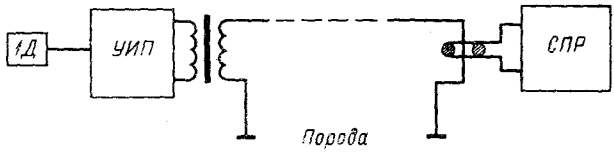


Рис. 1. Блок-схема измерительной системы

Для ввода энергии в линию связи возможны следующие варианты согласования *УИП* с линией связи: 1) неизолированная металлическая направляющая пропускается через центр выходного трансформатора, выполненного в виде тора, и заземляется на обеих концах; вторичной обмоткой служит один виток, образованный неизолированной металлической направляющей и породой; 2) неизолированная металлическая направляющая подключается к одному выводу вторичной обмотки трансформатора, второй вывод которой заземляется; 3) на выходе устройства включается передающая антенна.

Принципиально случаи первый и второй эквивалентны и отличаются лишь конструктивным решением. Третий ввод информации в канал наи-

более интересен с точки зрения размещения аппаратуры в выработке, однако вопрос излучения антенн в полупроводящей среде еще недостаточно изучен и пока нет антенн, которые можно размещать в скважинах.

Рассмотрим согласование линии передачи с выходом *УИП* для первых двух случаев. Линию передачи электромагнитной энергии, образованную неизолированной металлической направляющей и породой, можно представить в виде эквивалентной длинной линии. В соответствии с методикой расчета таких линий можно определить волновое и входное сопротивления*, постоянную распространения. Так как сопротивление нагрузки трансформатора меняется с изменением проводимости среды, необходимо выбирать оптимальную связь линии с выходным каскадом, что можно осуществить с помощью изменения коэффициента трансформации.

Как известно**, ток во вторичной обмотке трансформатора

$$I_2 = \frac{E}{n\left(R_i + R_1 + R_2' + Z_н'\right)}, \qquad (1)$$

где E — напряжение эквивалентного генератора; R_1 и R_2' — сопротивление обмотки трансформатора, соответственно, первичной и вторичной, приведенное к первичной; для транзисторных каскадов с трансформаторным выходом $R_1 = R_2' = (0{,}4 \div 0{,}8) R_i$; $Z_н'$ — сопротивление нагрузки, приведенное к первичной обмотке; n — коэффициент трансформации.

Если активная составляющая сопротивления нагрузки больше реактивной, т. е. для случая пород с электропроводностью $1 - 10^{-3}$ $1/ом \cdot м$ и частотой передаваемого сигнала $100 \div 5000$ *гц*, ток в линии будет максимальным

$$\text{при} \quad \frac{1}{n} = \sqrt{2\frac{R_i}{Z_n}}. \qquad (2)$$

Это позволяет определить величину оптимального коэффициента трасформации. Так как его величина меняется с изменением нагрузки, вторичную обмотку выходного трансформатора следует делать секционированной.

При вводе энергии в линию с помощью тороидальной катушки линия передачи, образованная металлической направляющей и породой, представляет один виток вторичной обмотки тороидального трансформатора. Э. д. с. индукции E, наводимая в этом витке, определяется известным соотношением

$$E = \frac{d\Phi}{dt}; \quad \Phi = \mu_0 \int_s \overline{H} d\overline{s}, \qquad (3)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость среды; Φ — поток магнитной индукции; H — напряженность магнитного поля; s — площадь сечения.

Ток в линии определяется как $\overline{I} = \sigma \overline{E}$.

При таком включении первичная обмотка трансформатора должна быть секционированной. Ток, индуцированный в проводе, при прочих равных условиях будет меньше, чем в предыдущем случае, так как вторичный виток, состоящий из неизолированной металлической

---

* Масленникова В. В., Семевская Н. В. Расчет длинной линии, образованной изолированной направляющей в горной выработке. Физико-технич. проблемы разработки полезн. ископ., 1970, № 4.

** Шимони К. Теоретическая электротехника. Мир, 1964.

направляющей и породы, увеличивают поток рассеяния. Конструктивное решение при этом варианте также сложнее, чем в предыдущем.

Устройство измерения и передачи (рис. 2) состоит из задающего генератора *Т-1*, двух каскадов предварительного усиления *Т-2*, *Т-3* и выходного усилительного каскада с трансформаторным выходом. В частотнозависимую цепь генератора включен индуктивный первичный преобра-

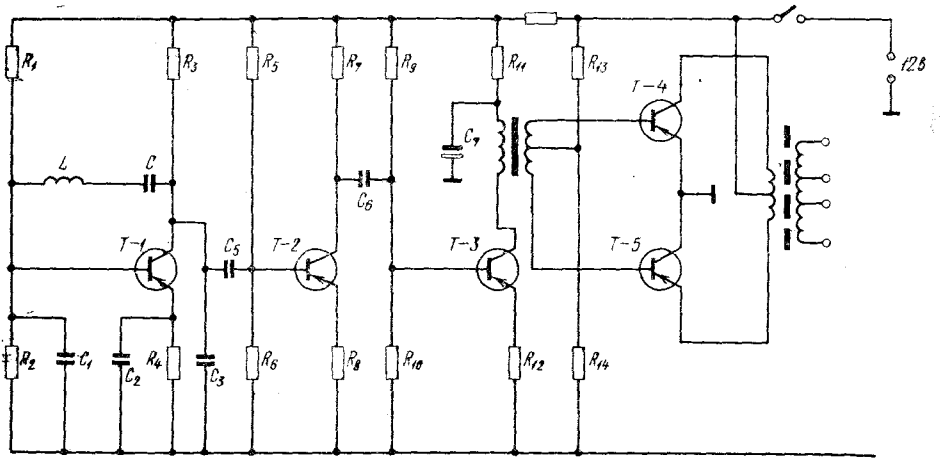


Рис. 2. Принципиальная схема устройства измерения и передачи

зователь. Подвижный сердечник его связан с объектом, перемещение которого надо фиксировать. Для связи канала передачи информации с приемным устройством можно использовать следующие согласования: приемную ферритовую антенну; тороидальный трансформатор, роль первичной обмотки которого играет виток, образованный неизолированной металлической направляющей и породой; согласующий трансформатор.

Первый вариант согласования неприемлем в условиях шахт из-за остро направленной характеристики стержневой ферритовой антенны, благодаря чему величина сигнала, принимаемого антенной, зависит от ее ориентации относительно неизолированной направляющей. Рациональнее применять для согласования тороидальную катушку, по центру которой пропускается направляющая, заземленная на конце, чем достигается независимость показаний от ориентации катушки. Третий вариант согласования конструктивно более сложен и разрешает измерения лишь в конце линии. При этом необходимы достаточно надежные электрические контакты линии и приемного трансформатора, тогда как второй вариант позволяет производить измерения в любой точке линии. Для измерения рациональнее использовать сердечники из оксифера, так как они имеют линейную характеристику намагничивания.

Вывод основных соотношений заключается в установлении детерминированной зависимости между параметрами ферритового сердечника, обмоточными данными катушек и переменными напряжениями и токами на входе и выходе приемной катушки. Так как рабочую точку следует выбирать на линейном участке характеристики намагничивания, переменные токи и напряжения в цепи можно принять изменяющимися по синусоидальному закону. Тогда при выводе расчетных соотношений в соответствующих дифференциальных уравнениях можно перейти от

мгновенных значений токов к их комплексным амплитудам. Процессы в линии можно описать системой уравнений в комплексной форме ($\overline{j}$ — мнимая единица)

$$\begin{aligned} I_1(R_1 + jx_1) + jx_m I_2 &= E, \\ I_2(R_2 + jx_2) + jx_m I_1 &= 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Решая систему относительно I_2, найдем выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = -E\frac{R_2[x_m(x_2R_1 + x_1R_2) + jx_mR_1R_2]}{R_1^2 + R_2^2 + (x_2R_1 + x_1R_2)^2}. \tag{5}$$

Взяв модуль выражения (5) и выразив реактивные сопротивления x_1, x_2, x_m через индуктивности и обмоточные данные сердечников w_1, w_2, $\kappa_{1,2}$, получим

$$U_{\text{вых}} = ER_2\frac{\omega k_2 w_1 w_2 \mu}{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 + \mu^2\omega k^2(W_2^2R_1 + W_1^2R_2)}}, \tag{6}$$

а через ток в первичной цепи, соответственно,

$$U_{\text{вых}} = I_1R_2\frac{\sqrt{R^2 + x^2}}{(R_2^2 + x_2^2)[R_1^2R_2^2 + (x_2R_1 + x_1R_2)]^2}. \tag{7}$$

По этим соотношениям можно рассчитать приемную катушку.

СПР состоит из усилителя, собранного на триоде *Т-1*, и емкостного частотомера (рис. 3). На вход усилителя поступают электромагнитные

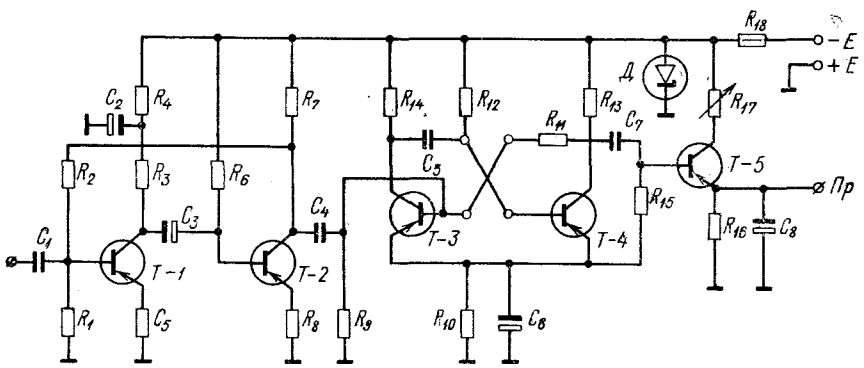


Рис. 3. Принципиальная схема станции приема и регистрации

колебания с частотой передаваемого сигнала. Колебания усиливаются и поступают на вход формирователя импульсов, собранного по схеме ждущего мультивибратора *Т-2, Т-3*. Сформированные прямоугольные импульсы заряжают конденсатор, который разряжается через прибор. Величина тока разряда пропорциональна измеряемой частоте.

Как показали лабораторные испытания макета системы, показания станции измерения и передачи в течение 7 *ч* непрерывной работы не изменяются; при изменении температуры окружающей среды от 0 до 30°С изменение частоты на выходе не превышает 1%, потребляемый ток при напряжении питания 8 *в* зависит от величины нагрузки, но не превышает 0,5 *а*.

При снятии основных характеристик на вход *СПР* подавали сигнал от звукового генератора с помощью трех витков связи, намотанных на тороидальную приемную катушку и подключенных к выходу генератора.

Макет измерительной системы успешно прошел испытание на рудниках треста «Ачполиметал».