

## ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫЙ МОСТ ДЛЯ ГЕОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ ИНДУКТИВНОСТИ ПЕТЛИ (МИП)

Разработчики традиционных методов индуктивной электроразведки, получившей широкое распространение в 60х–80х гг. прошлого века, столкнулись с проблемами выделения полезного сигнала, характеризующего геоэлектрический разрез, на фоне высокого уровня промышленных помех. Увеличение глубинности петлевого метода легче всего достигается увеличением размера петли. Однако при увеличении размера петли растут и величины индуцируемых помех, причем индуцируемая величина ЭДС помехи прямо пропорциональна площади петли. Полевые исследования последних лет уровня и характера помех показали, что промышленные помехи зачастую, особенно вблизи крупных силовых установок, имеют богатый частотный спектр, который не подавляется эффективно заграждающими фильтрами на 50 и 150 Гц и фазочувствительным синхронным детектированием. В традиционных индуктивных методах, при прямых способах измерения, полезный измеряемый сигнал от среды смешивается с помехой и поэтому помеха вносит существенную погрешность в измеренную величину полезного сигнала. В методе индуктивности петли электрические сигналы, т.е. ЭДС не измеряются, помеха может затруднять измерение, но смешаться с полезным сигналом она не может, т.к. мост не может быть сбалансирован по помехе. Однако помеху высокого уровня необходимо подавлять, чтобы она не перегружала широкополосный вход высокочувствительного избирательного фазочувствительного нуль-индикатора и не мешала балансировать мост. Изобретенный авторами [И.М. Евдокимов, С.И. Евдокимов, 1989] универсальный измерительный мост для геoeлектроразведки обладает свойством подавления переменных электромагнитных помех любой природы. Он основан на использовании двухвитковой петли, витки которой включены в мост так, что наведенные внешние электромагнитные помехи взаимно подавляются и одновременно, за счет обводной цепи, позволяют измерять отклик, внесенный от среды. Данный мост при соответствующих включениях петель разного размера и конфигурации измеряет также все параметры среды в режиме измерения взаимной индуктивности. Весь комплекс параметров измеряется одними и теми же высокостабильными измерительными устройствами — магазинами индуктивности, сопротивлений

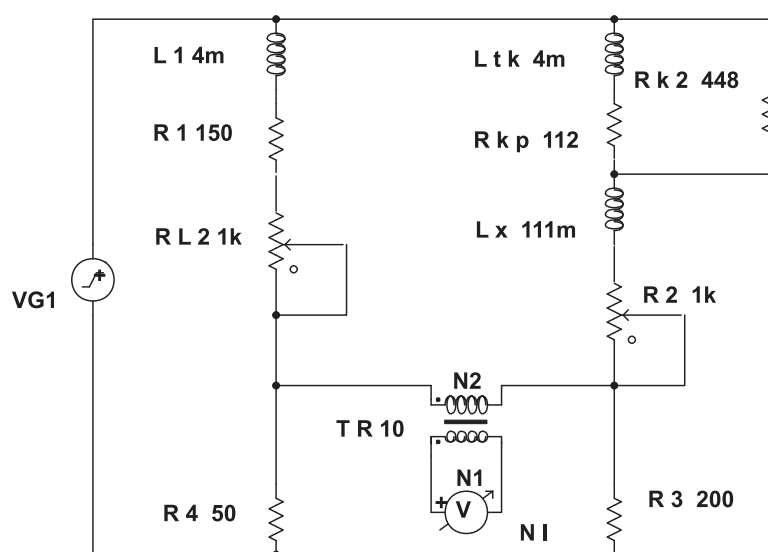
и емкости. Аппаратура МИП позволяет измерить практически все параметры измерительного моста и петли перед началом работы, измерить паразитные утечки, оценить уровень и характер помех для того, чтобы выбрать оптимальный вариант включения измерительной установки. Данный подход дает возможность измерять вышеперечисленные параметры среды с высокой степенью достоверности.

На рисунке изображен универсальный измерительный мост, разработанный авторами для метода индуктивности петли. Рассмотрим соотношения компонентов моста на примере петель размером 400×400 м. Сечение токовой петли 1,5 мм<sup>2</sup>, сечение термокомпенсирующей петли 0,35 мм<sup>2</sup>. В момент баланса моста выполняется условие  $I_1 = I_2 \cdot R_3/R_4$ , где  $I_1$  — ток через токовую ветвь моста,  $I_2$  — ток через измерительную ветвь моста. Введем  $a = R_k2/(R_k2 + R_{kp})$ ,  $n = R_3/R_4$ ,  $n = S_1/S_2$ , где  $S_1$  — площадь сечения провода токовой петли,  $S_2$  — площадь сечения провода термокомпенсирующей петли. При условии компенсации реактивной составляющей будем иметь  $L_x = L_1 \cdot (1-a) \cdot n$ . Для примера возьмем  $n = 1,5/0,35 = 4,2857 \approx 4$ ,  $a = 448/(448 + 112) = 0,8$  при сопротивлении для компенсации помехи  $R_k2 = 448$  Ом и сопротивлении термокомпенсирующей петли  $R_{kp} = 112$  Ом. Наш отсчет будет равен  $L_x = L_1 \cdot (1-0,8) \cdot 4 = 0,8 \cdot L_1$ .

Для петли 400×400 м  $L_x \approx 3200$  мкГн, измеренные с погрешностью  $\pm 0,25$  мкГн, при этом любая электромагнитная помеха будет значительно подавлена.

Для определения степени подавления помехи воспользуемся выведенными К.Б. Карандеевым [1953] соотношениями для оценки величины напряжения разбаланса моста.  $V = \delta Z \cdot K \cdot V_0$ , где  $K = (R_1/R_4)/(1 + R_1/R_4)^2$ ,  $V_0$  — напряжение питания моста. Наиболее благоприятное отношение  $R_1/R_4 = 1$ , при этом  $K = 0,25$ ,  $\delta Z = \Delta L_1/L_1$ . Если напряжение помехи появляется в петле, то оно индуцируется в половине стороны моста, поэтому, чтобы воспользоваться формулой для напряжения разбаланса моста, мы вынуждены условно удвоить величину помехи подменив  $V_0 = 2 \cdot E_{\text{помехи}}$ . Приняв  $E_{\text{помехи}}$  за 1 получаем формулу в относительных величинах  $\Delta V/V_0 = (1-a) \cdot 2 \cdot K$ , или  $\Delta V = 0,5 \cdot V_0 \cdot (1-a)$ .

Данный подход позволяет выбирать степень подавления помехи с учетом остальных параметров установки, влияющих на получение достоверных результатов измерений. В этом случае помеха будет



**Рис. Универсальный измерительный мост для метода индуктивности петли**

$L_1$  — индуктивность токовой петли,  $R_1$  — сопротивление токовой петли,  $R_{L2} = R_{kp}/n$  — добавочное сопротивление,  $n = R_3/R_4$  коэффициент умножения,  $R_4$  — эталонное сопротивление в токовой цепи,  $L_{tk}$  — индуктивность термокомпенсирующей петли,  $R_{kp}$  — сопротивление термокомпенсирующей петли,  $R_{k2}$  — активное сопротивление для компенсации помехи,  $L_x$  — магазин индуктивности,  $R_2$  — магазин сопротивлений,  $R_3$  — эталонное сопротивление в измерительной цепи,  $TR$  — входной трансформатор,  $N_1$  — селективный фазочувствительный нуль-индикатор,  $VG_1$  — генератор синусоидального сигнала, питающий мост.

иметь величину  $\Delta V = 0,5 \cdot V_0 \cdot (1 - 0,8) = 0,1 \cdot V_0$ , т.е. помеха будет подавлена в 10 раз!

Измерения, проводившиеся в последние годы, показали, что в большинстве случаев подавление помехи в 10 раз оказывалось достаточным для получения достоверных результатов.

**Литература:**

**Евдокимов И.М., Евдокимов С.И.** Измерительный мост для геоэлектроразведки: Авторское свидетельство № 1548764. — 1989.

**Карандеев К.Б.** Мостовые методы измерения. — Киев: Гостехиздат УССР, 1953. — 246 с.