

**А.В. Кожевников, канд. техн. наук**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ВВОДА И СНЯТИЯ ОПЕРАТИВНОГО СИГНАЛА В ПОДСТАНЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ ЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ

В настоящее время известны две схемы ввода и снятия оперативного сигнала в подстанционных устройствах систем частотной защиты (СЧЗ) электроtransporta с заземленным обратным проводом: параллельно источнику силового напряжения и последовательно с ним. Схема параллельного ввода и снятия сигнала реализована в аппаратуре защиты РУКС [1–3], а последовательного – в системах АЧЗ и РКС [1, 2].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ чувствительности указанных схем по отношению к изменению сопротивления утечки контактной сети.

На рис. 1 а, б приведены упрощенные эквивалентные схемы соответственно параллельного и последовательного ввода и снятия сигнала в подстанционных устройствах СЧЗ на оперативной частоте.

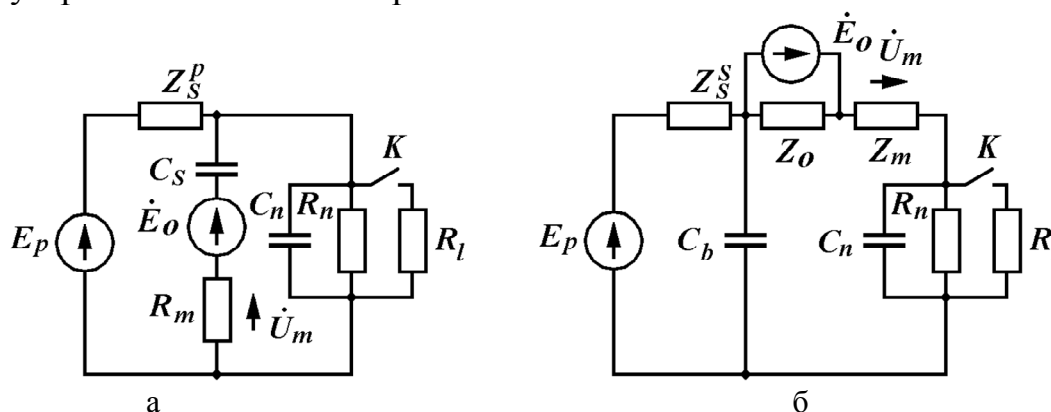


Рис. 1. Упрощенные эквивалентные схемы параллельного (а)  
и последовательного (б) ввода и снятия сигнала в подстанционных устройствах СЧЗ  
на оперативной частоте

Здесь  $E_p$  и  $E_0$  – ЭДС источников соответственно силового и оперативного напряжений;  $Z_S^p$ ,  $Z_S^s$  – разделительные сопротивления (заградители), уменьшающие отвлечение тока оперативной частоты в силовой источник;  $R_n$  и  $C_n$  – приведенные емкость и активное сопротивление тяговой сети;  $R_l$  – сопротивление утечки контактной сети в аварийном режиме;  $R_m$ ,  $Z_m$  – измерительные сопротивления, с которых снимается напряжение оперативной частоты, являющееся функцией величины сопротивления утечки  $R_l$ ;  $Z_0$  – сопротивление, посредством которого в силовую цепь вводится оперативное напряжение;  $C_s$  – разделительная емкость, обеспечивающая развязку источника оперативного напряжения по постоянному току;  $C_b$  – блокировочная емкость, шунтирующая силовой источ-

ник по оперативному току. Сопротивления  $Z_S^p$ ,  $Z_S^s$ ,  $Z_m$ ,  $Z_0$ , включенные в силовую цепь, выполнены в виде параллельных резонансных контуров на основе сильноточных дросселей. Резонансные частоты контуров совпадают с частотой оперативного сигнала, т.е. их сопротивления являются чисто активными. Величины  $C_S$  и  $C_b$  выбираются таким образом, чтобы их сопротивление на оперативной частоте было пренебрежимо мало. Коммутация ключа  $K$ , подключающего к цепи сопротивление утечки  $R_l$ , соответствует различным вариантам замыкания в контактной сети: через тело человека, породу, оборудование, а также короткого замыкания. В зависимости от конкретного варианта замыкания величина  $R_l$  может изменяться от десятых долей Ом до единиц кОм.

Наиболее громоздкими и дорогостоящими элементами рассматриваемых схем являются дроссели. Легко показать, что имеет место прямая пропорциональная зависимость между величинами активного сопротивления параллельного контура в резонансе, индуктивностью дросселя контура, длиной обмотки дросселя, ее объемом и массой. Сравнительный анализ схем проводился в предположении близости массогабаритов их элементов, т.е. равенства масс обмоток дросселей схем:

$$Z_S^p = Z_S^s + Z_m + Z_0. \quad (1)$$

Кроме того, для схемы последовательного ввода, включающей несколько резонансных контуров, с технологической точки зрения наиболее предпочтительным является рассматриваемый ниже вариант с применением одинаковых дросселей, для которых выполняется соотношение

$$Z_S^s = Z_m = Z_0 = \frac{Z_S^p}{3}. \quad (2)$$

Выбор значения  $R_m$  для схемы параллельного ввода осуществляется исходя из условия максимальной чувствительности измерительного устройства к изменению величины  $R_l$ . Для схемы, содержащей последовательно включенные источник напряжения с ЭДС  $E_0$ , измерительное сопротивление  $R_m$  и переменное сопротивление  $R$ , максимальную чувствительность можно определить как

$\left| \frac{\partial U}{\partial R} \right|$ , где  $U$  – напряжение на сопротивлении  $R_m$ , которая достигается при значении, удовлетворяющем равенству

$$\frac{\partial}{\partial R_m} \left| \frac{\partial U}{\partial R} \right| = 0. \quad (3)$$

С учетом того, что

$$\frac{\partial}{\partial R_m} \left| \frac{\partial U}{\partial R} \right| = E_0 \frac{R^2 - R_m^2}{(R + R_m)^4}, \quad (4)$$

условие (3) выражается в равенстве значений  $R$  и  $R_m$ . Проведенные численные расчеты показали, что критерий выбора значения  $R_m$  в схеме параллельного ввода является аналогичным, т.е. для получения максимальной чувствительности измерительного устройства величина  $R_m$  должна быть равна значению модуля импеданса включенной последовательно с ним цепи:

$$R_m = \left| Z_S^p \parallel R_n \parallel \left( \frac{1}{j\omega C_n} \right) \right|, \quad (5)$$

где  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  – частота оперативного напряжения. Здесь и далее символ  $\parallel$  обозначает определение значения параллельно включенных импедансов, т.е.

$$Z_1 \parallel Z_2 = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

С учетом сделанных выше предположений зависимость  $\overset{\square}{U}_m = \overset{\square}{U}_m(R_l)$  имеет следующий вид: для схемы параллельного ввода

$$\overset{\square}{U}_m(R_l) = E_0 \frac{R_m}{R_m + Z_S^p \parallel R_n \parallel R_l \parallel \left( \frac{1}{j\omega C_n} \right)}, \quad (6)$$

а для схемы последовательного ввода

$$\overset{\square}{U}_m(R_l) = E_0 \frac{Z_m}{Z_m + R_n \parallel R_l \parallel \left( \frac{1}{j\omega C_n} \right)}. \quad (7)$$

На рис. 2 а, б для анализируемых схем приведены зависимости приращений (по отношению к случаю  $R_l = \infty$ ) соответственно модулей  $\Delta U_m$  и фаз  $\Delta \arg(\overset{\square}{U}_m)$  напряжений на измерительных сопротивлениях схем в функции сопротивления утечки  $R_l$ . Другими словами отображены зависимости модулей напряжений на измерительных сопротивлениях от сопротивления утечки в предположении, что сигнал тока утечки контактной сети в штатном режиме скомпенсирован. Зависимости получены с использованием соотношений (4), (5)

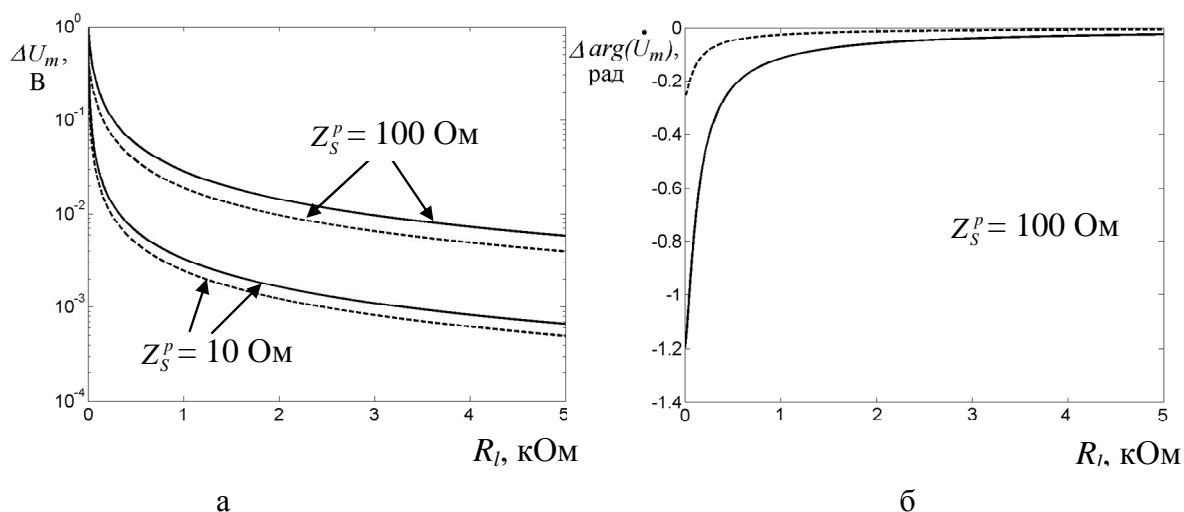


Рис. 2. Зависимости приращений соответственно модулей (а) и фаз (б) напряжений на измерительных сопротивлениях схем в функции сопротивления утечки для схем с параллельным (-----) и последовательным (——) вводом и снятием оперативного сигнала

при значениях параметров схем:  $E_0=1$  В,  $f=5$  кГц,  $R_n=1$  кОм,  $C_n=0,25$  мкФ, а также в рамках сделанных выше предположений (1) и (2).

Из рис. 2 следует, что схема с последовательным вводом и снятием оперативного сигнала, в сравнении с альтернативной, обладает более высокой чувствительностью как по амплитуде, так и по фазе напряжения на измерительном сопротивлении относительно к изменению активного сопротивления утечки контактной сети при одинаковых массовых затратах материала обмоток дросселей.

Дальнейшими направлениями исследований могут стать разработки математических моделей выбранной схемы подстанционного устройства СЧЗ с узлом компенсации сигнала начального тока утечки для установившихся и переходных режимов, а также анализ с использованием указанных моделей откликов измерительного устройства на различные варианты возникновения каналов утечки между контактным проводом и рельсовой цепью.

### Список литературы

1. Бунько В.А., Волотковский С.А., Пивняк Г.Г. Повышение безопасности рудничной электровозной откатки – М.: Недра, 1978. – 200 с.
2. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
3. Дремов В.И., Головченко Л.В., Мироненко Э.Ф. Аппаратура защиты РУКС-4 от утечек в шахтных контактных сетях электровозного транспорта// Уголь Украины. – 1973. – № 7. – С. 34-35.