

УДК 621.3.06.07

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ НА СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТОКА ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ ФАЗЫ В ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ

КЯЗИМЗАДЕ Р.З.

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия*

В статье рассматриваются основные требования, обеспечивающие сохранение синусоидальности тока при обрыве какой-либо фазы. С этой целью необходимо определять производную тока, которая оказывает искажающее влияние на форму кривой. Производная тока, т.е. скорость его изменения, зависят от выбора сопротивления, а также значений  $L$ ,  $C$  линии, о чем свидетельствуют угловая и амплитудная погрешности.

Для правильной работы устройств системной автоматики необходима надежная передача сигналов и обеспечение этой надежности при своевременном отключении в месте короткого замыкания, т.е. учет влияния на форму кривой отключаемого тока. Одним из основных требований к таким испытательным установкам является требование обеспечения практически синусоидальной формы кривой тока. А для оценки синусоидальности тока следует осциллографировать не только сам ток, но и его скорость изменения (производную), т.к. с помощью производной легче выявить искажения в форме кривой.

Известно, что при расчете затухания сигналов вдоль длинных линий коэффициент распространения волны полностью зависит от параметров этих линий

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0}$$

где  $Z_0$ ,  $Y_0$  – сопротивление и проводимость этой линии, определяемые различными характеристиками, т.е. активным и индуктивным, зависящими от удельного сопротивления линии, магнитной проницаемости и длины линии

$$R = \frac{l}{\pi S} \sqrt{\frac{\omega k I_0 \rho}{2\pi S}} e^{-\frac{\gamma l}{2}} \text{ Ом}$$

$$L = \frac{l}{4\pi r} \sqrt{\frac{\rho \mu}{\pi f}} \text{ Гн}$$

Для двухпроводной воздушной линии

$$L = 4 \cdot 10^{-4} \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

где  $d$  – расстояние между линиями;  $S$  – сечение линии,  $\text{мм}^2$ ;  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;  $l$  – длина линии, м;  $r$  – радиус сечения линии, м.

Погонные параметры приобретают вид

$$R_0(l) = \frac{dR(l)}{dl} = a \left(1 - \frac{\gamma l}{2}\right) e^{-\frac{\gamma l}{2}}$$

$$L_0(l) = \frac{dL(l)}{dl} = d \left(1 - \frac{\gamma l}{2}\right) e^{-\frac{\gamma l}{2}}$$

а,  $d$  – постоянные коэффициенты.

Определяя коэффициент распространения волны напряжения или тока, учитывают, что на передающем конце образуются три волны прямой, обратной и нулевой последовательности, причем прямая и обратная последовательности образуют одну междуфазовую волну. При повреждении какой-либо фазы напряжение на ней равно сумме напряжений волн всех трех последовательностей, т.к. в месте повреждения может возникнуть волна нулевой последовательности, которая постепенно затухает по формуле:

$$\Delta\alpha = \ln \left| \frac{\dot{E}}{\dot{U}_{A_1} + \dot{U}_{A_2}} \right|$$

где

$$\dot{U}_{A_1} = \frac{1}{3} \left( \dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C \right)$$

- волна напряжения прямой последовательности;

$$\dot{U}_{A_2} = \frac{1}{3} \left( \dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C \right)$$

- волна напряжения обратной последовательности.

Если в этом случае отключается ток (обрыв фазы), то его значение определяется следующим выражением

$$\dot{i} = I_m \sin(\omega t + \varphi) - I_m \varphi e^{-\gamma t}$$

где  $\varphi$  – фаза включения тока короткого замыкания;  $\gamma$  – коэффициент затухания апериодической составляющей.

Измерение токов короткого замыкания производится с определенной допускаемой погрешностью.

Для измерения производной этого тока, т.е. скорости изменения тока, применяют воздушный трансформатор, включенный в цепь интегрирования, причем при протекании тока  $i$  по его первичной обмотке во вторичной обмотке индуцируется э.д.с. самоиндукции и напряжение пропорционально производной тока, т.е.

$$U = M \frac{di}{dt}$$

Во всех этих случаях значение тока изменяется экспоненциально

$$I = I_0 e^{-\gamma t}$$

$l$  – длина линии передач.

Если в измерительной цепи при постоянной интегрирования  $\tau \geq 1$  с приняты соотношения

$$\frac{R_1}{\rho} = \frac{1}{2 + \frac{R}{\rho}}$$

где

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Тогда межфазовое напряжение  $U_{AB}$  имеет следующий вид

$$\dot{U}_{AB} = \frac{R_1}{R + R_1} M I_m \left\{ A(t) e^{-\frac{\alpha L}{2} t} + \right. \\ \left. + n \omega \cos(\omega t + \varphi - \psi) - m \alpha \sin \varphi e^{-\alpha t} \right\}$$

где  $A(t)e^{-\frac{\alpha L}{2}t}$  - некоторая экспоненциальная функция, выражающая переходный процесс во вторичной цепи и которая затухает с коэффициентом

$$K = -\frac{\alpha L}{2}$$

Прирост же затухания определится как

$$\Delta\alpha = \ln \left| \frac{E}{U_{AB}} \right|$$

или

$$\alpha = \ln \left| 1 - Ke^{-2\gamma l} \right|$$

При выборе параметров цепи необходимо условие ограничения во времени переходного процесса вторичной цепи, чтобы не было существенного влияния на точность измерений. А для этого при малой постоянной времени  $\tau_L = \frac{1}{\alpha L}$  и при  $t = (8 \div 10)\tau_L$  после включения тока короткого замыкания напряжения на  $R_1$  и конденсаторе  $C$  имеют вид

$$u_{AB} = \frac{R_1}{R + R_1} MI_m \left[ n_1 \omega \cos(\omega t + \varphi - \psi) + m_1 \alpha \sin \varphi e^{-\alpha t} \right]$$

$$u_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_1}{R + R_1} MI_m \alpha_2 \left\{ n_1 n_2 \sin(\omega t + \varphi - \psi + \delta) - m_1 m_2 \sin \varphi e^{-\alpha t} - [n_1 n_2 \sin(\varphi - \psi + \delta) - m_1 m_2 \sin \varphi] e^{-\alpha t} \right\}$$

где

$$n_1 = \frac{1}{(1 + \omega \tau_L)^2}; \quad m_1 = \frac{1}{(1 - \alpha \tau_L)^2};$$

$$\tau_L = \frac{L}{R + \rho} = \frac{\frac{l}{4\pi r} \sqrt{\frac{\rho \mu}{2\pi S}} e^{-\frac{\gamma l}{2}}}{\frac{l}{\pi S} \sqrt{\frac{\omega K I_0 \rho}{2\pi S}} e^{-\frac{\gamma l}{2}} + \rho}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2\omega \tau_1}{1 - (\omega \tau_L)^2}; \quad n_2 = \cos \delta; \quad m_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha_2}{\alpha}}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{\tau_2} = \frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2};$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\alpha_2}{\omega}$$

Из этих формул видно, что ток и его производная осциллографируются с угловыми и амплитудными погрешностями ( $\psi$  и  $\delta$ ) (рис.1).

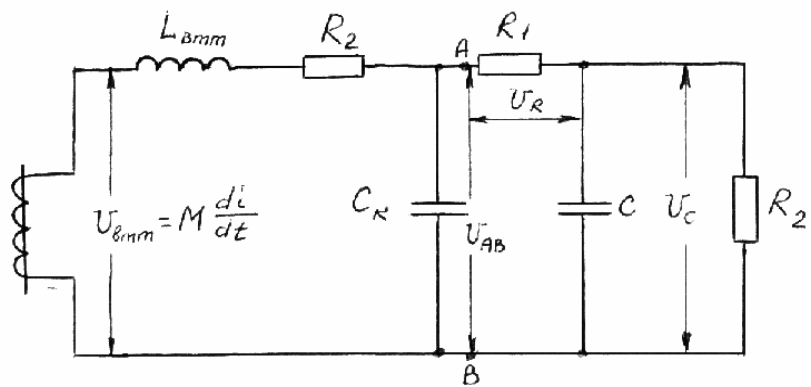


Рис.1

Причем угловая погрешность уменьшается с уменьшением  $L$  и  $C$  и увеличением  $R$ , т.е. зависит от угловой частоты  $\omega$ .

При  $f = 50$  Гц

$$\omega\tau_L < 0,05$$

т.е. можно принять

$$\operatorname{tg}\psi = 2\omega\tau_L$$

а для малых углов

$$\operatorname{tg}\psi = \psi$$

при тех же частотах ( $f = 50$  Гц)

$$\tau_L = \frac{1}{2} \frac{\psi}{\omega} = \frac{1}{2} \tau_\psi$$

На рис.2 представлены изменения  $m = f(\tau_\psi)$  и  $n = f(\omega\tau_L)$ .

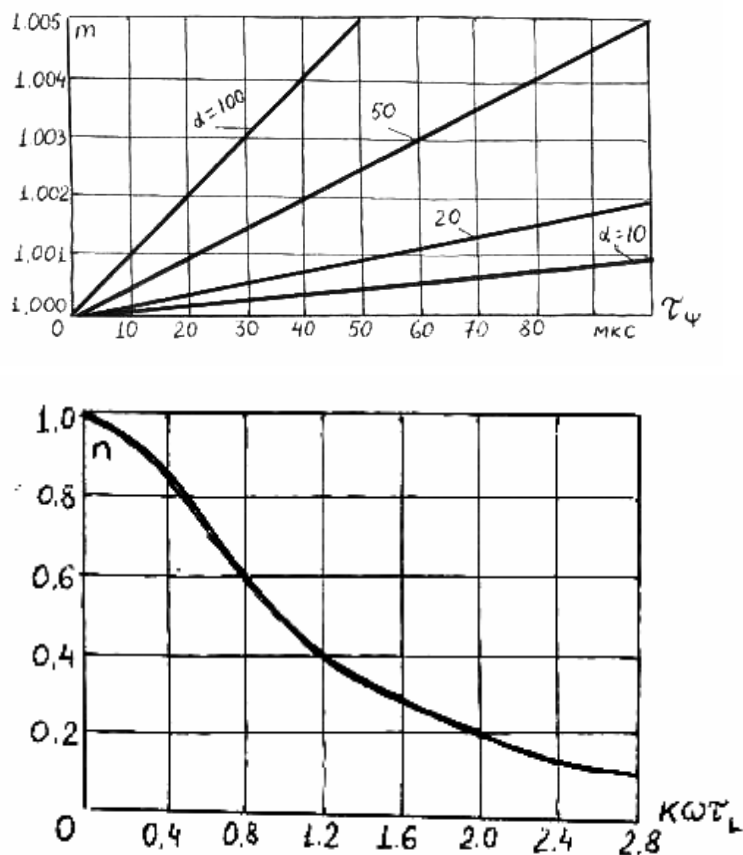


Рис.2

Амплитудная погрешность зависит от коэффициентов  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  и в практических случаях

$$\alpha\tau_L < 1$$

Поэтому, с достаточной точностью определяя

$$m_1 = 1 + 2\alpha\tau_L = 1 + \alpha\tau_\psi ,$$

определяется зависимость от  $\tau_\psi$ .

В случае, когда  $\tau_\psi \leq 50$  мкс, амплитудная погрешность не превышает 0,5%, а с уменьшением  $\alpha$  погрешность еще более уменьшается. Следовательно, основное влияние на скорость изменения тока оказывает угловая погрешность ( $\psi$ ).

- 
1. Кязимзаде Р.З. Короткие замыкания на линиях электропередачи и их влияние на затухание сигналов в каналах связи. Известия высших учебных заведений Азербайджана, № 1, 2002.
  2. Кязимзаде Р.З. Расчет тока в нулевом проводе и смещение нейтрали в четырехпроводной линии передач с активными и реактивными параметрами. Известия высших учебных заведений Азербайджана, № 2, 2002.
  3. Кязимзаде Р.З. Теория электрических цепей (на азерб. языке). Баку, АДНА, 2000.
  4. Кязимзаде Р.З. Нелинейные цепи. Баку, Маариф, 1999.
  5. Кязимзаде Р.З. Некоторые вопросы теории электромагнитного поля. Баку, Элм, 2002.
  6. Болотин И.Б., Лещенко В.Д. Измерение тока короткого замыкания и его первой производной. Электричество, № 4, 1969

## **QISAQAPANMIŞ ÜÇFAZALI SİSTEMLƏRDƏ XƏTTİN PARAMETRLƏRİNİN CƏRƏYANIN DƏYİŞMƏ SÜRƏTİNƏ TƏSİRİ**

**KAZIMZADƏ R.Z.**

Məqalədə fazalardan biri qırıldıqda, cərəyanın sinusoidallığının saxlanmasının əsas tələbatları araşdırılır. Bu məqsədlə cərəyanın törəməsinin əyrinin formasına təhrif təsirini təyin etmək lazımdır. Cərəyanın dəyişmə sürəti müqavimətin, həmçinin xəttin  $L$ ,  $C$  –nin seçilməsindən asılıdır ki, bunu da bucaq və amplitud xətalari sübut edir.

## **THE LINE PARAMETERS INFLUENCE ON CURRENT VARIATION SPEED DURING PHASE SHORT CIRCUIT IN THREE PHASE SYSTEMS**

**KYAZIMZADE R.Z.**

The paper deals with basic requirements of current sinusoidal character keeping on in the case of phase switching off. On this purpose one should determine current differential, which change shape of current curve for the worst. Current differential depends on the choice of the resistance as well as line's inductance and capacitance.