

МОДЕЛИРАНЕ НА ЛЮЛЕЕНЕ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА ПРИ ИЗПИТАНИЯ НА РЕЛЕЙНИ ЗАЩИТИ

ДОЦ. Д-Р ИНЖ. СТЕФАН ОВЧАРОВ, ДОЦ. Д.Т.Н. ИНЖ. СТАНИМИР ВИЧЕВ, ИНЖ. ПИТЪР ЯКИМОВ – Технически университет, София

Изведени са аналитично изрази за сигналите при синхронно люлеене и асинхронен ход в електроенергийната система. Графично е построен ходограф на импеданса, измерван от релейната защита при люлеене. Синтезирани са токове и напрежителни сигнали за изпитания на релейни защиты в режим на люлеене.

Люлеенето в електроенергийната система води до опасност от излишно зареждане на дистанционните защиты. В тях продължително се поставят специални блокировки при люлеене. Съществува опасност за неправилно действие и на други защиты, реагиращи на тока. Съвременните електронни устройства за изпитване на релейни защиты трябва да могат да симулират токовете и напреженията, които постъпват в релейните защиты по време на този режим.

Люлеенето и асинхронният ход в електроенергийните системи са следствие на системни смущения - рязка промяна на товара или изключване на късо съединение с недопустимо забавяне. Големината на колебанията зависи от степента на смущението и от устойчивостта на системата.

Цел на настоящата статия е да се изведат аналитични изрази и да се симулира изменението на напрежението и тока, измервани от релейната защита при люлеене в електроенергийната система. Получените сигнали могат да се използват при изпитания на дистанционни и други видове релейни защиты.

За представяне на процесите се разглеждат

два опростен двумашинен модел на електроенергийната система, в който двата еквивалентни генератора са свързани помежду си с електрическа връзка с импеданс \dot{Z}_Σ (фиг. 1).

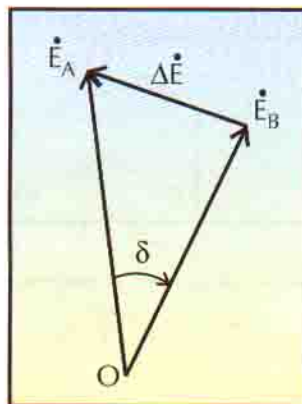
Разглежда се дистанционната защита от страна А на електропровода. Тя получава ток \dot{I}_P и напрежение U_P .

Валидни са равенствата (фиг. 2):

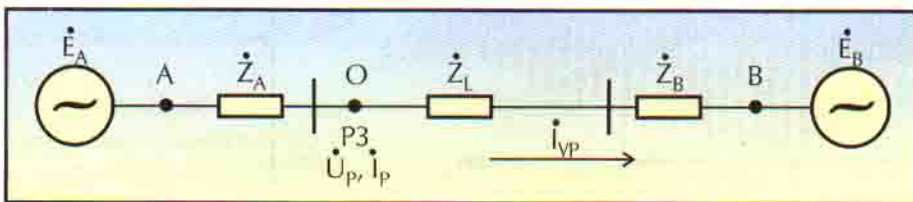
$$\dot{Z}_\Sigma = \dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_L; \Delta \dot{E} = \dot{E}_A - \dot{E}_B;$$

В общия случай се приема $|\dot{E}_A| = |\dot{E}_B| = |\dot{E}|$

Токът, измерван от релето \dot{I}_P , е равен



Фиг. 2



Фиг. 1

4

на т.нар. уравнителен ток \dot{I}_{yp} , който протича в системата: $\dot{I}_P = \dot{I}_{yp} = \frac{\Delta \dot{E}}{\dot{Z}_\Sigma}$.

Напрежението на релето \dot{U}_P ще бъде:

$$\dot{U}_P = \dot{E}_A - \dot{I}_P \dot{Z}_A = \dot{E}_A - \dot{Z}_A \frac{\Delta \dot{E}}{\dot{Z}_\Sigma}$$

Измереният импеданс от релето \dot{Z}_P е:

$$(1) \dot{Z}_P = \frac{\dot{U}_P}{\dot{I}_P} = \dot{Z}_\Sigma \frac{\dot{E}_A}{\Delta \dot{E}} - \dot{Z}_A$$

Измененията на величините се определят от разликата в честотите ω_A и ω_B на двата генератора, техните параметри и параметрите на останалите елементи на системата.

Характерни случаи на люлеене в електроенергийната система:

I. Честотите на двата генератора са постоянни $\omega_A = const.$, $\omega_B = const.$

Кръговата честотата на хлъзгане е $\omega_S = \omega_A - \omega_B = 2\pi f_S$.

За България честотата на люлеене f_S се

променя в интервала от 0,2 Hz до 2 Hz, като най-често стойността ѝ е между 0,6 Hz и 1,5 Hz.

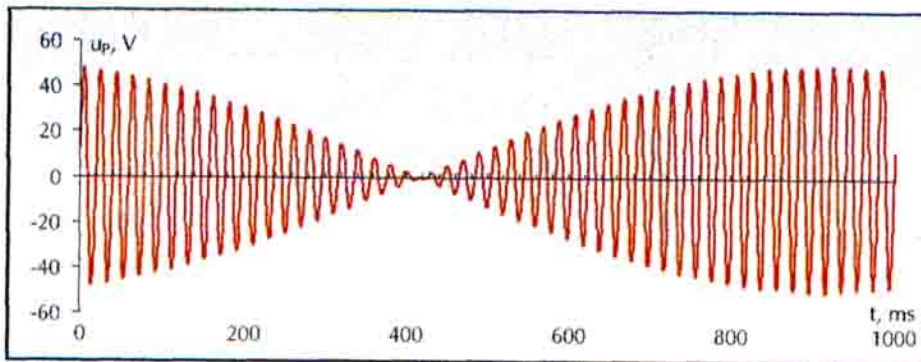
Като се приеме, че началната фаза на напрежението на първия генератор δ_A е нула и не се изменя във времето, то за напрежението на втория генератор може да се запише:

$$E_B(t) = E_{Bmax} \sin(\delta_B) = E_{Bmax} \sin(\delta_0 + 2\pi f_S t)$$

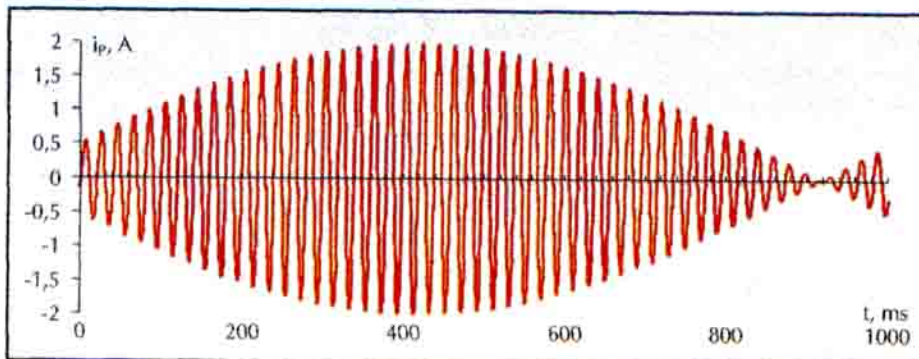
В този случай фазата на втория еквивалентен генератор от математическия модел се променя линейно във времето и той се намира в асинхронен ход.

Измерваните от релейната защита напрежение $u_p(t)$ и ток $i_p(t)$ са показани на **фигури 3 и 4**. Вижда се, че честотата на напрежението $u_p(t)$, която е полусбора на двете честоти, е близка до номиналната поради малкото хлъзгане и няма да доведе до увеличаване на грешките на измервателните трансформатори.

От анализа на времедиаграмите се установява, че при люлеене в електроенергийната система по електропроводите протичат уравнителни токове с максимал-



Фиг. 3



Фиг. 4

на стойност при ъгли δ близки до 180° , която е съизмерима с токовете на късо съединение. Напрежението в ЕЕС също се колебае. Уравнителният ток изостава от разликата между е.д.н. на ъгъл φ_C , определен от параметрите на системата.

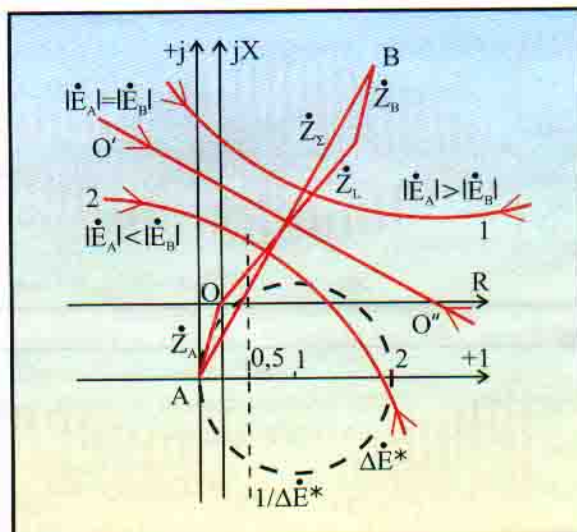
Редица блокировки на дистанционни защити реагират на импеданса, измерен от защитата, и затова ходографът на импеданса представлява специален интерес. Той може да бъде получен от уравнение (1), разгледано като дробно-линейна функция. На **фиг. 5** е представено графично такова решение.

За начало на координатната система се избира точка А (**фиг. 1**). При промяна на ъгъл δ в интервала от 0° до 360° върхът на вектора $\Delta \dot{E}$ ще описва окръжност, която минава през т. А. $\Delta \dot{E}$ се разделя на \dot{E}_A и се получава $\Delta \dot{E}^*$, който е в относителни единици. Инверсният образ $1/\Delta \dot{E}^*$ е права, успоредна на ординатната ос и отстояща на 0,5 о.е. от нея. Произведението $\dot{Z}_\Sigma \left(1/\Delta \dot{E}^* \right)$ дава права $O'O''$, която разполюва вектора \dot{Z}_Σ и е завъртяна според неговия ъгъл. За да се получи крайният резултат за \dot{Z}_p , трябва от $\dot{Z}_\Sigma \left(1/\Delta \dot{E}^* \right)$ да се извади векторът \dot{Z}_A . Това се реализира с преместване на координатното начало в т. О, което отговаря на мястото на релейната защита. В новата координатна система (R, jX) по време на люлеене векторът \dot{Z}_p се движи по правата $O'O''$. Ако $|\dot{E}_A| \neq |\dot{E}_B|$ ходографът на вектора \dot{Z}_p се движи по една от дъгите 1 или 2 [3].

Поведението на блокировките при люлеене може да се анализира чрез съпоставяне на характеристиките им на заработване с измервания от защитата импеданс. Като пример на **фиг. 6** е показана характеристиката 3 на блокировка с овална форма [4].

II. Преминаване от люлеене в синхронен режим по линеен закон

Кръговата честота $\omega_A = const.$, а ω_S се



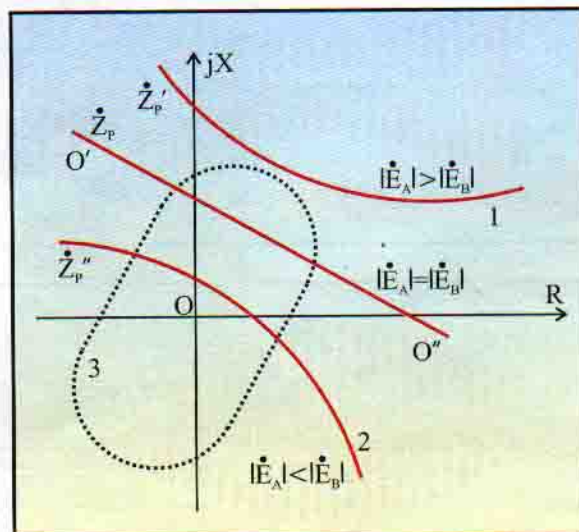
Фиг. 5

изменя от една начална стойност до нула, т.е. режимът на люлеене минава в синхронен след краен брой периоди.

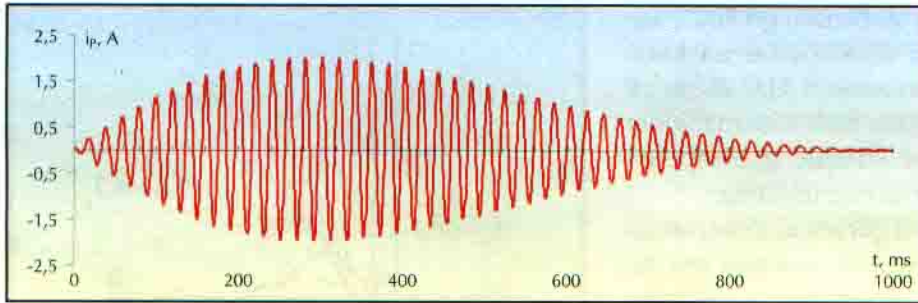
На **фигури 7** и **8** са показани времедиаграмите на напрежението $u_p(t)$ и тока $i_p(t)$ на релейната защита при линейно изменение на f_s от 1 Hz до нула със скорост 1 Hz/s. В края на разглеждания временен интервал се възстановява синхронния режим [5].

III. Синхронно люлеене

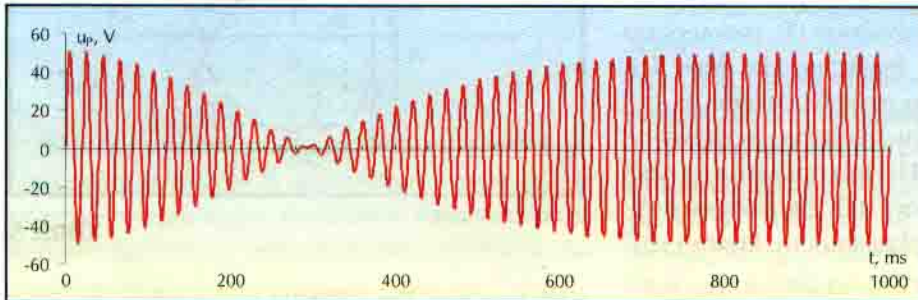
Приема се, че фазата на първия генератор δ_A е нула и не се изменя във времето, а фазата на втория ще се променя по синусоидален закон:



Фиг. 6



Фиг. 7



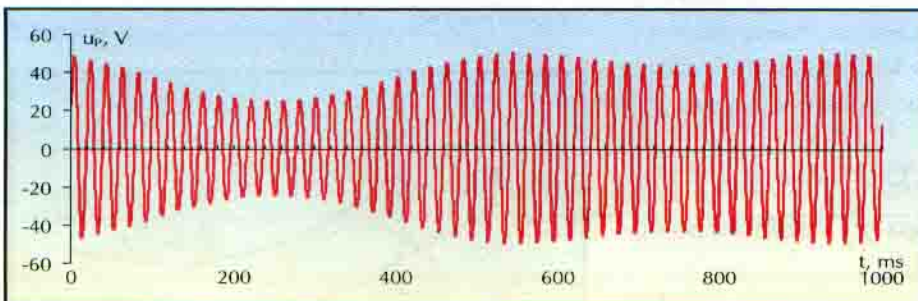
Фиг. 8

$$E_B(t) = E_{B\max} \sin(\delta_B) = \\ = E_{B\max} \sin[\delta_0 + \delta_{\max} \sin(2\pi f_s t)].$$

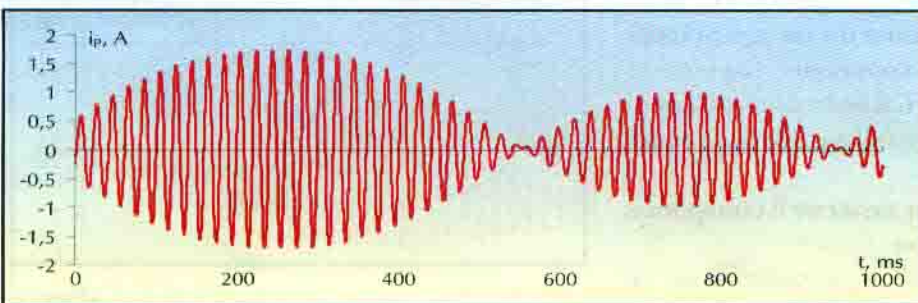
В този случай фазата на втория генератор се променя от начална стойност δ_0 до стойност $\delta_0 + \delta_{\max}$ и след това се връща до първоначалната δ_0 без да се стига до дефазирание 180° .

Измененията на напрежението $u_p(t)$ и тока $i_p(t)$ на релейната защита при синхронно

люлеене са показани на **фигури 9 и 10**. На тези фигури няма случай, когато обвивната крива на напрежението $u_p(t)$ да минава през нула, но обвивната крива на тока $i_p(t)$ минава. Ходографът на импеданса ще има точки в безкрайността, но няма да стига до нула, а ще се връща обратно през някаква критична точка. Тази критична точка е необходимо да се съпостави с характеристиката на защитата и нейната блокировка.



Фиг. 9



Фиг. 10

Заклучение

При люлеене в електроенергийната система входните величини за релейните защиты могат да се представят с аналитични изрази и да се намери ходографът на измерения импеданс.

Изследвани са токове и напрежения при различни закони на изменение на честотата на хлъзгане.

Предложените токови и напрежителни сигнали дават възможност при изпитвания на релейните защиты с тестващи устройства и системи достоверно да се възпроизведат процесите при люлеене.

Изпитвания може да се провеждат също и чрез възпроизвеждане на сигнали от регистратори на повреди, записани в реални елек-

трически мрежи или синтезирани с помощта на различни програмни продукти (EMTP и др.)

Литература:

- [1] Георгиев, К. Г., Г. А. Димитров, С. Н. Нанчев. *Справочник по релейна защита*. София, Техника, 1977
- [2] Аврамов, Н. Н. *Основи на релейната защита*. София, Техника, 1984
- [3] Федосеев, А. М. *Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей*. М., Энергоатомиздат, 1984
- [4] Ilar, F. *Innovations in the detection of power swings in electrical networks*. ABB, CH-ES 35-30.10 E, Edition February 1986
- [5] Schwarz, Harald. *Power system analysis with NEPLAN guards against unexpected transients*. ABB Review No.3, 1990