

УДК 621.3.064.4

УСТРОЙСТВО ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЯХ.

Груба В.И. докт. тех. наук., проф., Кошин Б.А. аспирант
Донецкий государственный технический университет

Исследованы характеристики фазового детектора с обратной связью с использованием пакета mathcad, даны рекомендации по подбору параметров элементов указателя настройки, позволяющие повысить точность резонансной настройки системы защиты.

The characteristics of the phase detector with the return coupling are investigated with using of mathcad program pachet. The recommendatios on a choice of adjustment indicator elements parameters are given. The adjustment precision has been increased.

Как известно, настройка системы компенсации в резонанс осуществляется по результатам замера или расчета емкостного тока в зависимости от конфигурации сети.

В статье [1] для снижения затрат времени и повышения точности настройки для этой цели рекомендуется использовать указатель настройки. Указатель настройки является измерительным прибором. Если выходная характеристика указателя нелинейна и зависит от коэффициента демпфирования сети, то есть от случайных факторов, связанных с состоянием изоляции сети, то такой указатель можно использовать только в качестве индикатора, фиксирующего отклонение системы от резонансного положения. Для того, чтобы исключить влияние коэффициента демпфирования и линеаризовать выходную характеристику, что позволяет использовать указатель как измеритель емкостного тока сети, в него предлагается ввести обратную связь по напряжению смещения нейтрали $3U_0$. Указатель работает на фазовом принципе. В качестве измерительного органа в нем используется фазовый детектор фиксирующий изменение угла между опорным напряжением $U_{оп}$ и напряжением смещения нейтрали $3U_0$. Обратная связь охватывает фазовый детектор и формирователь входного сигнала $3U_0$. Поскольку напряжение смещения нейтрали $3U_0$ зависит от коэффициента демпфирования и от расстройки сети, то обратная связь позволяет учитывать состояние системы компенсации в целом.

Структурная схема указателя приведена на рис.1.

Указатель состоит из корректора фазы, роль которого выполняет резистор R , ключа $КЛ$, интегратора на элементах $R1$, $C1$ и $C2$, усилителя DA , D-триггера T , формирователя прямоугольных импульсов Φ , реле времени $PВ$ и логического элемента "И" - $\&$. Напряжение на выходе корректора изменяется по величине от $0.5 U_{\phi}$ до U_{ϕ} и по фазе от 0 до 120 эл. град. Реле времени $PВ$ имеет, зависимую от величины напряжения нейтрали, выдержку времени.

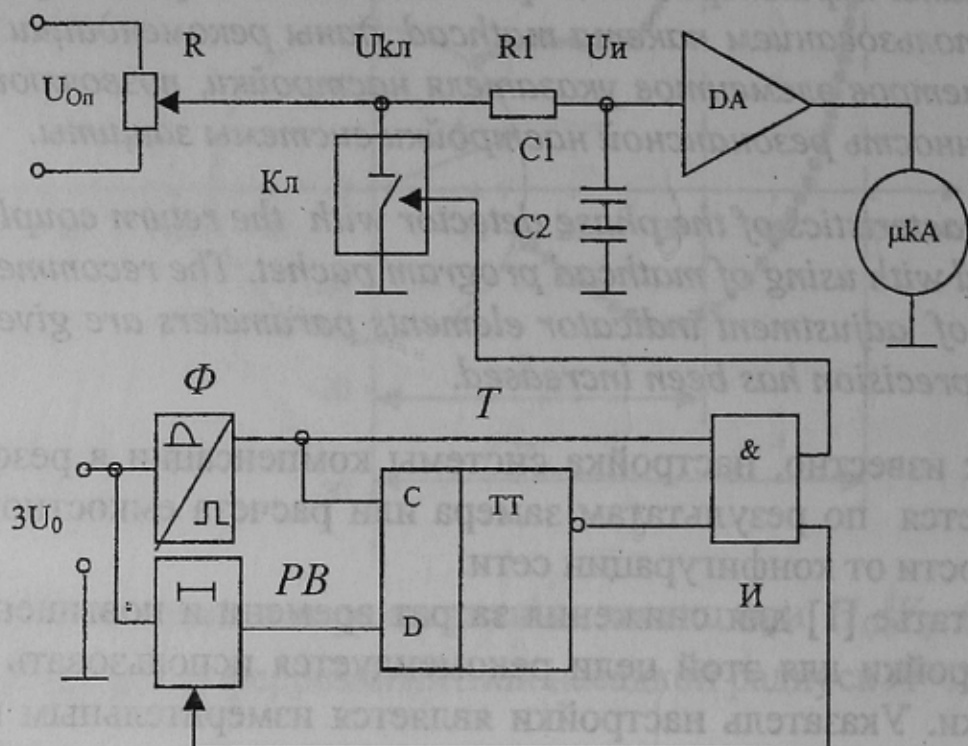


Рисунок 1 – Структурная схема указателя настройки

Для этого в нем напряжение нейтрали сравнивается с эталонным на времязадающем конденсаторе. Конденсатор заряжается от источника стабильного тока на полевом транзисторе. При этом напряжение на нем линейно возрастает от времени заряда. Регулировка реле выполняется изменением величины напряжения нейтрали, подаваемого на элемент сравнения. Следовательно, выдержка времени будет прямо пропорциональна величине напряжения смещения нейтрали.

Ключ $КЛ$ подает опорное напряжение на интегрирующую цепочку $R1$, $C1$ и $C2$ в течение длительности положительного полу периода напряжения нейтрали с периодичностью, определяемой реле времени.

Сигнал управления ключа поступает с логического элемента при наличии положительной полуволны напряжения нейтрали и разрешения, имеющегося на выходе D - триггера. Разрешение поступает при срабатывании реле времени РВ и при наличии прямоугольного импульса на выходе формирователя Ф. Срабатывание триггера вызывает открывание ключа и одновременно сброс реле времени в исходное состояние. Триггер ТТ возвратится в исходное состояние следующим прямоугольным импульсом формирователя Ф. Однако из-за действия элемента И ключ будет открыт только в течение 0.01 с.

На вход интегрирующей цепочки будут поступать импульсы напряжения постоянной амплитуды и одинаковой продолжительности, но разные по форме, таким образом, осуществляется обратная связь.

Рассмотрим математическое описание работы указателя с учетом электрической сети 6 - 35 кВ.

Опорное напряжение, подаваемое на вход указателя, будет:

$$U_{оп} = U_{л} \cos(\omega t),$$

где, $U_{л}$ - линейное напряжение сети.

Напряжение нейтрали в сети с компенсацией равно:

$$\dot{3}U_o = \frac{\Delta C}{3C\sqrt{d^2 + g^2}} \cdot U_{\phi},$$

где, U_{ϕ} - фазное напряжение сети;

ΔC - дополнительная емкость;

$3C$ - емкость фаз относительно земли;

d - коэффициент демпфирования сети;

g - расстройка ДР, равная $(I_c - I_L)/I_L$.

Сдвиг по углу между $3U_o$ и $U_{оп}$ равен:

$$\varphi = \arctg g/d.$$

Коэффициент демпфирования определяется активными потерями в сети, связанными с состоянием изоляции, и изменяется в диапазоне от 0,03 до 0,1. В области малых расстроек его влияние на работу измерительного органа незначительно и им можно пренебречь. В области больших расстроек выходная характеристика измерительного органа без обратной связи становится нелинейной.

Напряжение на ключе равно:

$$U_{кл} = \kappa U_{\phi},$$

где $k1$ – коэффициент делителя.

Напряжение, подаваемое на интегратор, описывается следующим образом:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < t_0 \\ k1U_\phi, & \text{при } t \geq t_0 \end{cases}$$

Период следования импульсов прямо пропорционален величине напряжения смещения нейтрали $3U_0$. Это достигается тем, что напряжение на выходе реле времени возрастает по линейному закону:

$$U_{pв} = \frac{I_3}{C_{pв}}, \text{ где } I_3 \text{ – ток заряда конденсатора } C_{pв}.$$

Положительный импульс попадает на D вход триггера, когда $U_{pв} = 3U_0$. Следовательно, выдержка реле времени равна:

$$t_0 = \frac{3U_0 C_{pв}}{I_3}.$$

Количество импульсов, прошедших за время t_0 , определяется выражением:

$$N = \text{int} \left(\frac{t_0 - \varphi/\omega}{0,01} \right),$$

где N – количество целых полу периодов.

Время отставания срабатывания триггера будет:

$$t1 = 0,02 - [t_0 - (N \cdot 0,02 + \varphi/\omega)]$$

Полное время срабатывания триггера: $t2 = t_0 + t1$, а период $T = t2 + 0,01$.

Для нахождения среднего значения напряжения на интеграторе воспользуемся интегралом Фурье.

$$U_{c1,c2} = \frac{1}{T} \int_{t2}^{t2+\pi/\omega} k1U_\phi \cos \omega t dt = -\frac{2k1U_\phi I_3}{C_{pв} T \omega 3U_0} \sin \varphi = -k2 \frac{U_\phi}{T \omega} \sin \varphi$$

При моделировании, на языке Mathcad, работы фазового детектора с обратной связью были получены следующие результаты.

Выходное напряжение интегратора не зависит от изменения коэффициента демпфирования (рис.2). На рис.3 показана зависимость выходного напряжения от степени расстройки. Из графика видно, что выходное напряжение не зависит от d . На краях диапазона выходная

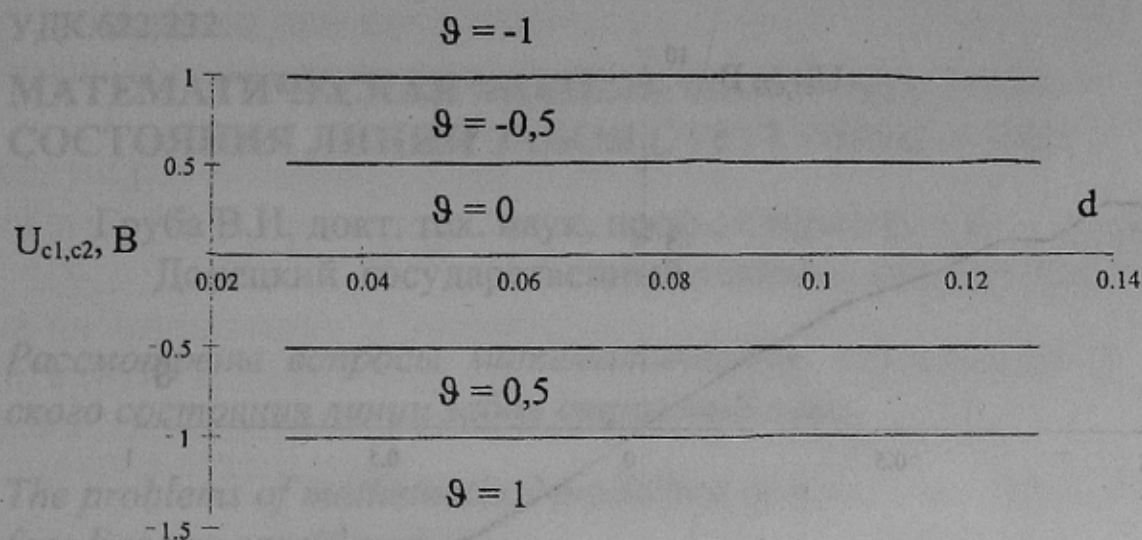


Рисунок 2 - Зависимость выходного напряжения $U_{c1,c2}$ от d при различных степенях расстройки

характеристика нелинейная, расчет проводился с постоянной реле времени 0,2 с.

Увеличив постоянную времени в 10 раз, удается получить линейную характеристику во всем диапазоне изменения расстройки сети (рис.4). При этом инерционность системы возрастает. Следовательно, в регулирующих системах, где важна малая инерционность и не требуется линейность характеристики, постоянная времени измерительного органа должна быть не более 0,2 с. В измерительных системах предпочтительнее иметь измерительный орган с выходной характеристикой вида: $y=kx$. Такая характеристика позволяет избежать дополнительных аппаратных затрат, связанных с линеаризацией выходной характеристики детектора. Низкая инерционность для измерительных устройств такого типа не нужна. Постоянная времени измерительного органа указателя настройки может быть в пределах от 0,8 с до 3с.

Выводы. Анализ выходных характеристик указателя настройки показал, что для обеспечения линейности на выходе измерительного органа и его использования в качестве измерителя емкостного тока сети, постоянная реле времени должна быть в пределах 0,8 – 2с.

Использование обратной связи в фазовом детекторе указателя настройки позволяет скомпенсировать влияние коэффициента демпфирования на работу измерительного органа и обеспечить точную настройку системы компенсации в пределах $\pm 5A$.

Список источников.

1. Кобазев В.П., Чупайленко А.А., Кошин Б.А., Лысенко В.А. Указатель настройки дугогасящего реактора // Энергетика и электрификация. – 1998. - №1. – С. 18 – 21.

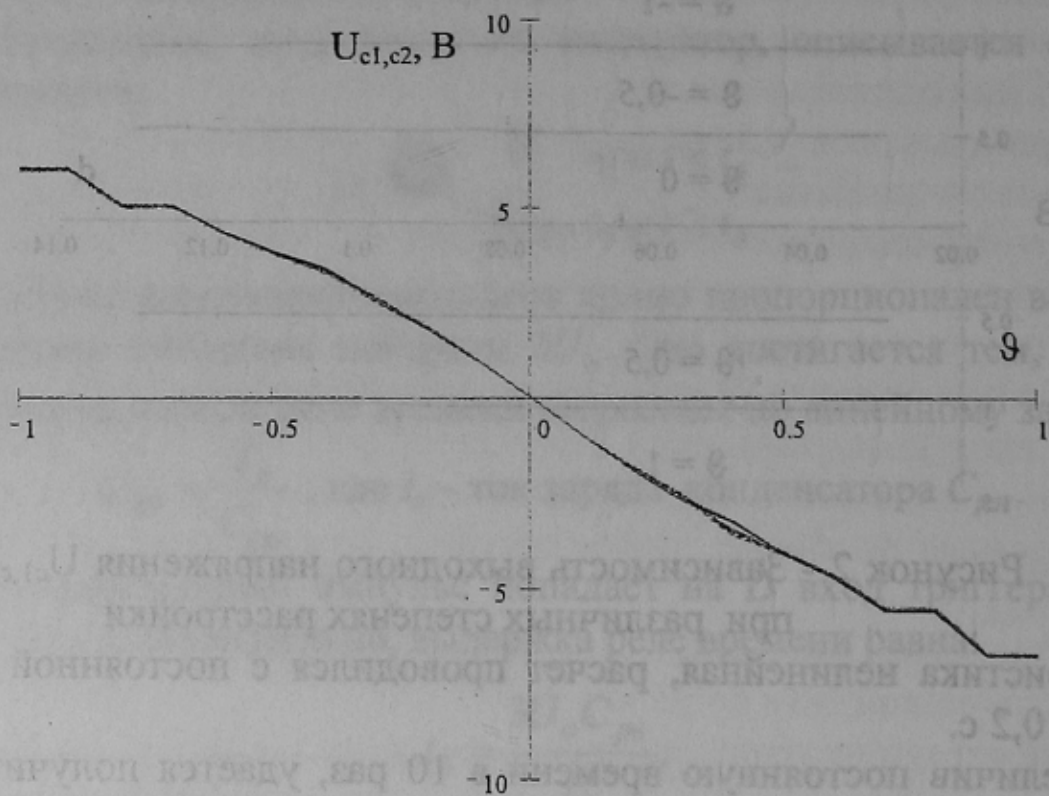


Рисунок 3 – Зависимость выходного напряжения $U_{c1,c2}$ от ϑ при различных значениях коэффициента демпфирования в диапазоне от 0,03 до 0,13 с шагом 0,05 при $t=0.2$ с

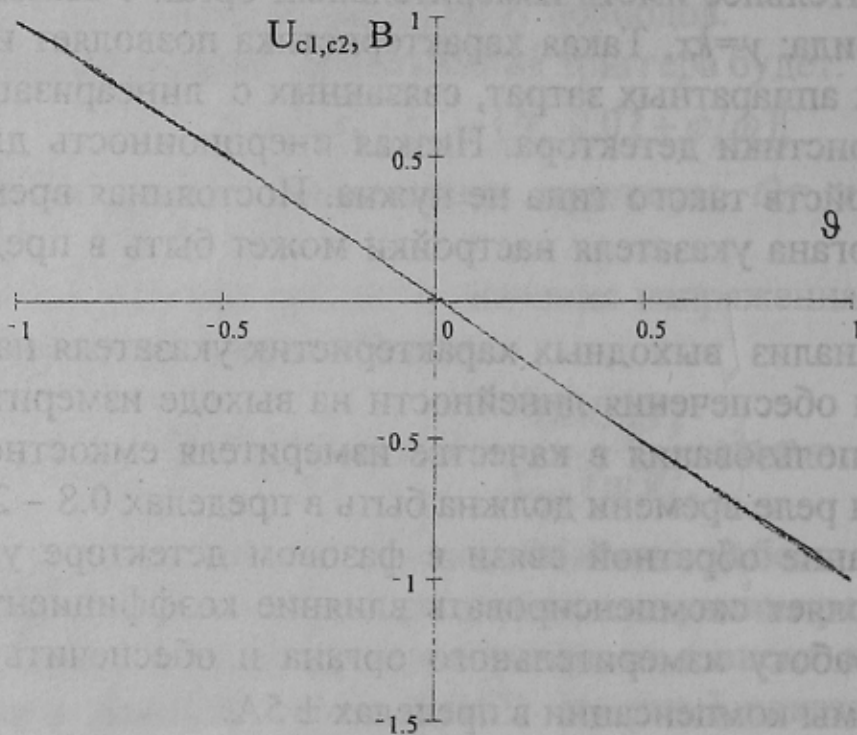


Рисунок 4 – Зависимость выходного напряжения $U_{c1,c2}$ от ϑ при различных значениях коэффициента демпфирования в диапазоне от 0,03 до 0,13 с шагом 0,05 при $t=2$ с