

## ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ В СЕТЯХ 6-35 КВ

### Автоматическая компенсация емкостного тока с использованием частоты свободных колебаний контура нулевой последовательности сети

*Владимир Козлов, НПП “Бреслер”, г. Чебоксары*

*Владимир Ильин, НПП “ЭКРА”, г. Чебоксары*

В положении о технической политике в распределительном электросетевом комплексе, утвержденном 25 октября 2006 года распоряжением председателя Правления ОАО “ФСК ЕЭС” [1], определено, что “при новом строительстве, расширении и реконструкции сетей напряжением 6–35 кВ необходимо рассматривать варианты проектных решений сети с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор с автоматической компенсацией емкостных токов, и нейтралью, заземленной через резистор”. В свете данного положения новую актуальность получил вопрос о принципах автоматического управления дугогасящими реакторами (ДГР). Рассмотрению этих принципов, анализу их достоинств и недостатков [2, 4, 5], а также новым предложениям [3] посвящен ряд публикаций в предыдущих номерах журнала.

#### Контроль уровня расстройки компенсации емкостного тока сети

В основе всех методов контроля уровня расстройки компенсации емкостного тока сети лежит “определение параметров” контура нулевой последовательности (КНП) данной сети. Под параметрами контура обычно понимаются  $R$ ,  $L$ ,  $C$  – то есть эквивалентные активное сопротивление, индуктивность и емкость сети относительно земли. Однако, во многих методах эти параметры непосредственно не определяются, а для контроля настройки контура в резонанс или степени его расстройки используются косвенные информационные признаки, например максимальное (при резонансе) и текущее значение напряжения смещения нейтрали  $U_0$  сети или его фаза [2].

Можно выделить две основные проблемы использования напряжения  $U_0$  в качестве основного информационного сигнала. Первая - низкий уровень напряжения  $U_0$ . Вторая – высокая степень его зашумленности.

В естественных условиях напряжение  $U_0$  многими воспринимается как “мусорная корзина”, собирающая все помехи, существующие в сети и зависящие от многих факторов. В сетях с малой степенью естественной несимметрии (кабельные сети) напряжение  $U_0$  ничтожно мало и порождается в основном различного рода высокочастотными составляющими, к тому же зависящими от тока нагрузки [2]. Поэтому только повышением чувствительности канала измерения при косвенных методах контроля КНП сети эти проблемы решить нельзя.

Для разделения помехи и полезного сигнала  $U_0$ , величину последнего необходимо повысить. Достигается это пассивными [4] или активными [5] методами искусственного смещения нейтрали. Наиболее простой и часто

используемый пассивный метод – подключение дополнительного конденсатора к фазе сети.

Обычно добротность КНП сетей составляет 20...50 и резонансная характеристика (зависимость  $U_0=f(\omega L_K)$ , где  $\omega L_K$  – индуктивное сопротивление ДГР) ярко выражена. В этих условиях простота реализации косвенных методов настройки КНП, в сочетании с пассивными методами искусственного смещения нейтрали, объясняют их сравнительно широкое использование в системах автоматической настройки ДГР.

В последнее время все большей популярностью пользуется комбинированное заземление нейтрали, т.е. подключение параллельно ДГР резистора [6]. Величина этого резистора выбирается в пределах 300...2500 Ом, что приводит к падению добротности КНП сетей до 3...8. Как следствие, проявляется один из недостатков автоматических регуляторов настройки ДГР, использующих для настройки амплитуду или фазу напряжения  $U_0$  – неопределенность работы на пологих участках резонансной характеристики, т.е. по существу происходит отказ регуляторов.

### Определение параметров свободных колебаний КНП

От недостатков методов, контролирующих напряжение смещения нейтрали  $U_0$  сети или его фазу, можно избавиться, перейдя к контролю частоты свободных колебаний КНП. Поскольку частота  $\omega_{св}$  и затухание  $\delta$  свободных колебаний определяются только параметрами КНП и не зависят от причин, вызвавших эти колебания, составляющую напряжения  $U_0$ , соответствующую свободным колебаниям КНП, можно записать в виде:

$$u_{0,св} = Ae^{-\delta t'} \sin(\omega_{св} t'),$$

где:  $t'$  – время, отсчитываемое от момента возникновения колебаний;

Задача автоматического регулятора ДГР – поддерживать заданный уровень расстройки компенсации, который в первом приближении можно определить следующим образом:

$$\nu = 1 - (T_{св} / T)^2,$$

где  $T$  – период напряжения сети. Очевидно, что в общем случае необходимо считаться с влиянием затухания на частоту колебаний, что особенно актуально для сетей с комбинированным способом заземления нейтрали:

$$\omega_{св}^2 = \omega_{рез}^2 - \delta^2.$$

Таким образом, величину расстройки компенсации можно определить исходя из формулы:

$$\nu = 1 - (T_{рез} / T)^2.$$

Поэтому, для этой задачи достаточно определить лишь период  $T_{св}$  свободных колебаний и коэффициент  $\delta$  затухания свободных колебаний. Но этим информация, содержащаяся в кривой  $u_{0,св}$  не исчерпывается. Можно определить добротность КНП сети:

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{\omega_{св}^2}{\delta^2}},$$

а если привлечь дополнительную информацию, например ток ДГР, то найти и непосредственные параметры контура –  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

Как отмечено в [5], за 30 лет не удалось создать автоматических регуляторов настройки ДГР, использующих метод контроля частоты свободных колебаний КНП. Причина этого все та же – малая величина и сильная зашумленность контролируемого напряжения  $U_0$ . Выделить из этого сигнала составляющую свободных колебаний на старой элементной базе не представлялось возможным. Однако микропроцессорная техника, в сочетании с современными методами цифровой обработки информации и хорошим качеством измерений, позволяют это сделать.

### Результаты практического применения

В качестве примера, на рис. 1...4 приведены реальные осциллограммы напряжения  $3U_0$  на 1-ой и 2-ой секции шин ПС “Западная” Северных электрических сетей Чувашиэнерго. На осциллограмме показаны режимы: стационарный – до момента возмущающего воздействия на КНП, и после возмущения. Отдельно выделен участок, на котором производилось выделение свободных колебаний, хотя визуально трудно представить, что эти режимы можно разделить и выделить из них составляющую свободных колебаний. Сама кривая выделенного напряжения  $u_{0,св}$  свободных колебаний приведена рядом с осциллограммой  $3U_0$ .

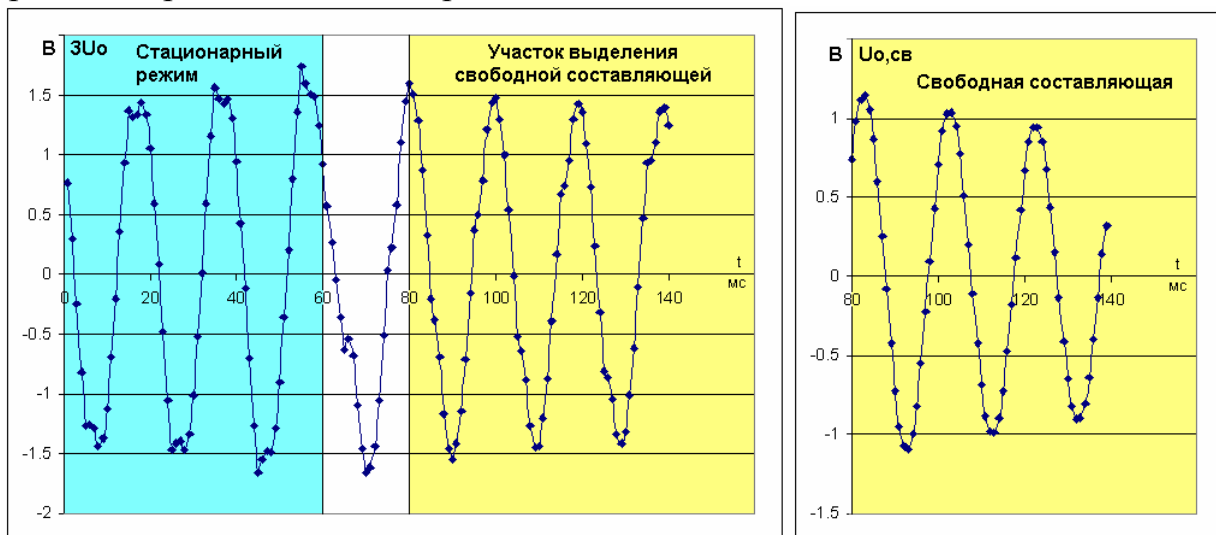


Рис. 1. Первая секция:  $\nu = -1,115\%$ ;  $f_{св} = 50,278$  Гц;  $f_{рез} = 50,284$  Гц;  $Q = 32,624$ ;  $\delta = 4,842$ .

Интересно, что секции данной подстанции резко различаются по добротности. Для первой секции добротность  $Q$  более 32, а второй – порядка 9. Осциллограммы приведены для двух режимов секций – настроенных на режим компенсации (на терминале был установлен режим перекомпенсации  $\nu = -0,01$  (-1%), для обеих секций) и максимально расстроенных путем вывода плунжеров ДГР в крайнее положение. Видно, что во всех режимах микропроцессорный регулятор четко выделяет свободную составляющую.

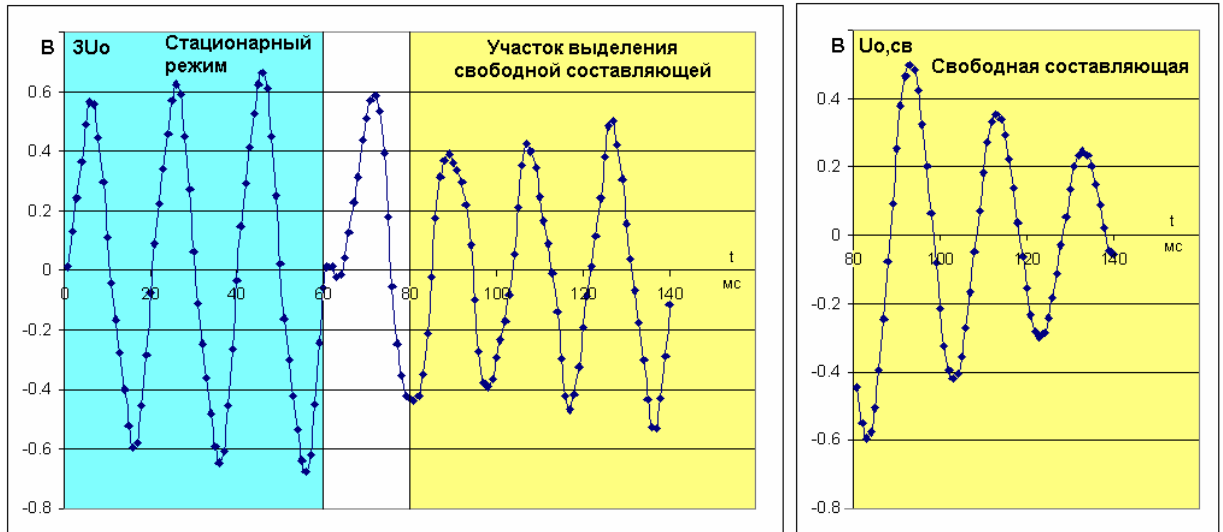


Рис. 2. Вторая секция:  $\nu = -0,464\%$ ;  $f_{св} = 50,116$  Гц;  $f_{рез} = 50,192$  Гц;  $Q = 9,068$ ;  $\delta = 17,388$ .

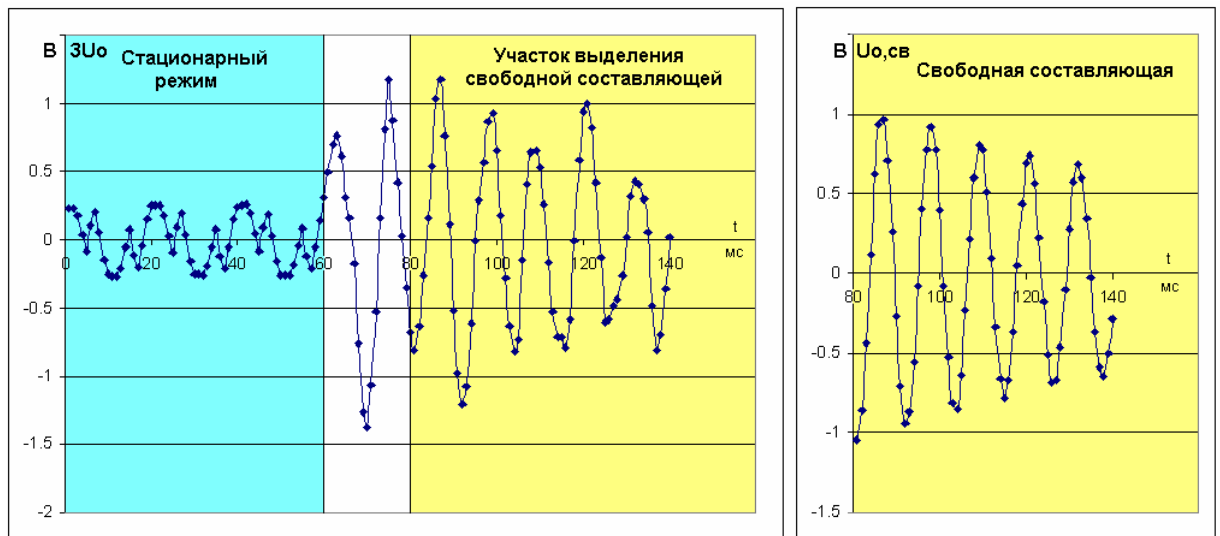


Рис. 3. Первая секция:  $\nu = -209,554\%$ ;  $f_{св} = 87,970$  Гц;  $f_{рез} = 87,979$  Гц;  $Q = 34,886$ ;  $\delta = 7,922$ .

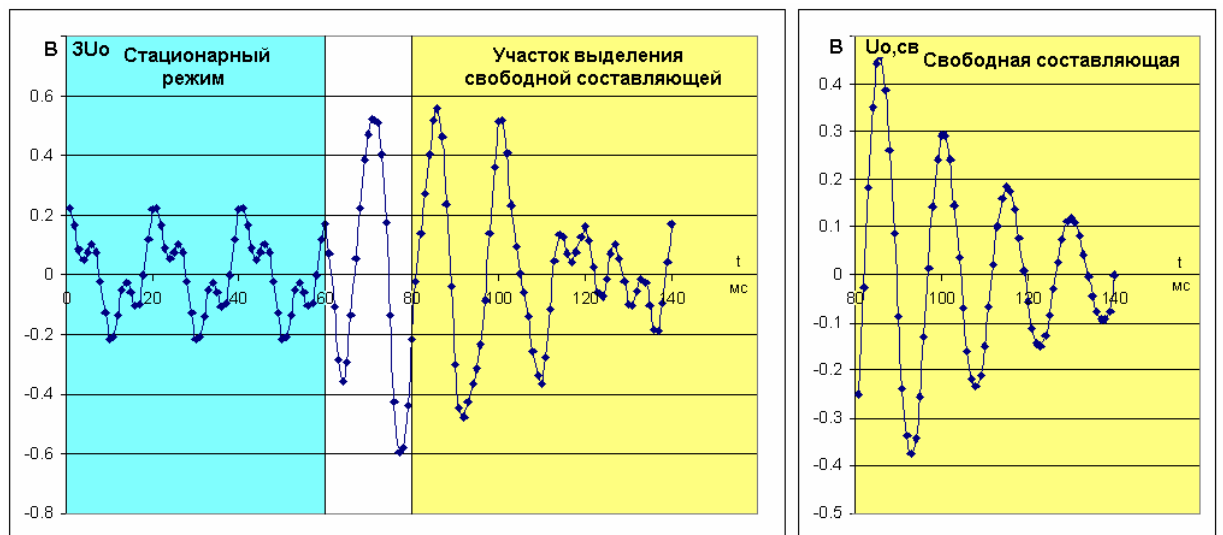


Рис. 4. Вторая секция:  $\nu = -82,298\%$ ;  $f_{св} = 67,508$  Гц;  $f_{рез} = 67,684$  Гц;  $Q = 6,957$ ;  $\delta = 30,562$ .

Свободные колебания в контуре возникают после возмущающего воздействия, в обычных условиях являющегося случайным фактором. Очевидно, что для задачи автоматического управления ДГР это воздействие должно быть целенаправленным и создаваться устройством управления. В рассматриваемом случае с этой целью производилась инъекция тока в КНП через сигнальную обмотку ДГР – рис.5 [3]. Как видно из осциллограмм, возмущение может быть кратковременным и незначительным по величине, т.е. не оказывающим практического влияния на сеть, в отличие от стационарного смещения нейтрали.

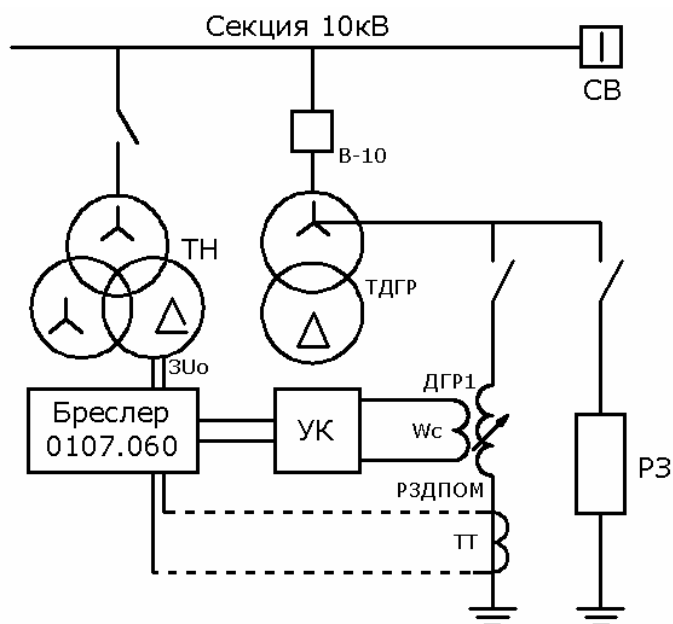


Рис.5 Схема подключения автоматического регулятора.

Все измерения, расчеты и осциллографирование выполнялись микропроцессорным регулятором “Бреслер-0107.060.2”, установленным на данной подстанции для управления двумя плунжерными ДГР.

Применение микропроцессорного терминала в качестве автоматического устройства управления ДГР позволило получить ряд полезных результатов. В частности, для определения пределов регулирования расстройки имеется возможность автоматически снять характеристики ДГР – рис.6. В этом режиме плунжер перемещается из одного крайнего положения в другое, затем обратно и каждые 0,5 с. контролируется расстройка. Из характеристики видно, что при расстройке порядка -25% наблюдается искажение кривой, что позволяет сделать предположение о дефекте механизма плунжера.

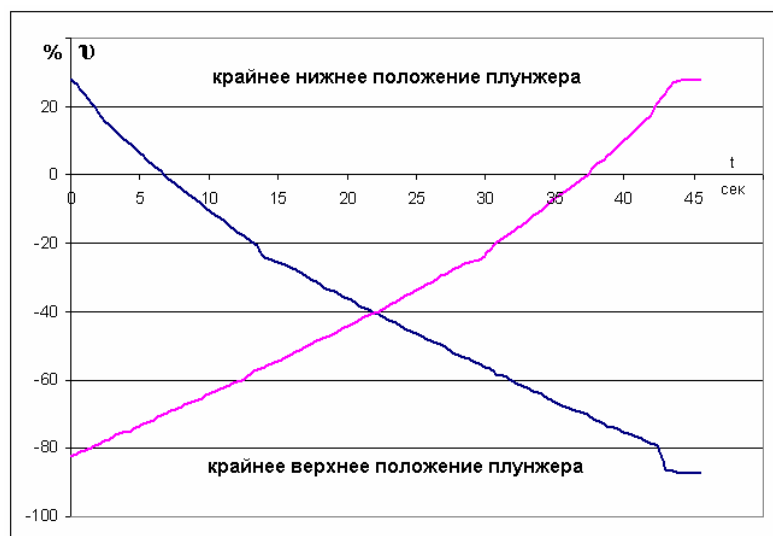


Рис.6. Характеристика регулирования расстройки.

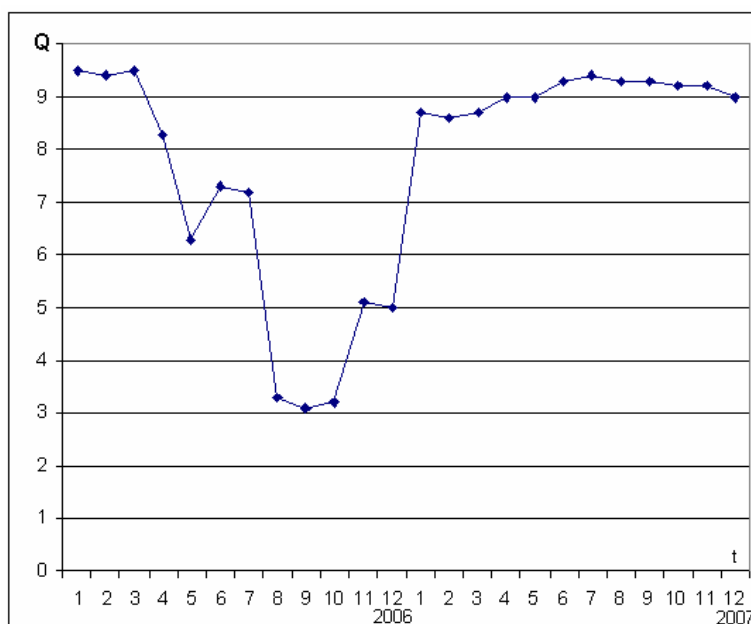


Рис. 7. Изменение добротности КНП для 2-ой секции шин.

Все результаты запусков программы контроля расстройки и привода ДГР сохраняются в журнале событий. На рис.7 приведен результат обработки журнала по параметру добротность. Видно, что на определенном интервале наблюдения добротность для 2-ой секции шин постоянно уменьшалась, что косвенно свидетельствует о снижении изоляции секции.

### ВЫВОДЫ

1. Частота свободных колебаний контура нулевой последовательности сети зависит только от параметров контура и не зависит от возмущающих воздействий. Поэтому метод настройки ДГР по частоте свободных колебаний свободен от недостатков, присущих экстремальным методам. Данный метод наиболее перспективен для использования в автоматических регуляторах ДГР, в том числе и в сетях с комбинированным режимом заземления нейтрали.

2. Автоматические регуляторы ДГР, использующие для определения расстройки частоту свободных колебаний КНП, могут быть реализованы только на микропроцессорной базе с использованием цифровых способов обработки информации.
3. Применение микропроцессорной элементной базы в автоматических регуляторах ДГР позволяет повысить точность настройки компенсации и расширить их функциональные возможности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Князев В., Боков Г. Техническая политика ФСК. Требования к распределительному электросетевому комплексу // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 6(42). – С. 22-26.
2. Druml G., Kugi A., Parr V. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Повышение точности настройки // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 1(43). – С. 48–51.
3. Druml G., Seiferd O. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Новый метод определения параметров сети // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 2(44). – С. 61–64.
4. Миронов И. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Автоматическая компенсация емкостного тока // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 3(45). – С. 62–65.
5. Миронов И. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Автоматическая компенсация емкостного тока // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 5(47). – С. 56–59.
6. Ильиных М., Сарин Л., Ширковец А., Буянов Э. Компенсированная и комбинированно заземленная нейтраль. Опыт эксплуатации сети 6 кВ металлургического комбината // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 2(44). – С. 68–72.