



РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР МОЩНОСТИ СО СМЕЩЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Л.П. Калинин, Д.А. Зайцев, С.И. Чеботарь
Институт энергетики АНМ, ГП Молдэлектрика

Реферат – Представлен регулируемый параметрический стабилизатор мощности со смещенными характеристиками, состоящий из фазосдвигающего трансформатора с дополнительной регулировочной обмоткой, двух сопряженных проводимостей и механического переключателя. Рассмотрены основные характеристики устройства по передаче активной и реактивной мощности, а также некоторые законы управления, обеспечивающие те или иные заданные условия его работы.

Ключевые слова – фазосдвигающий трансформатор, батарея статических конденсаторов, индуктор, характеристики активной и реактивной мощности.

В условиях развития транспортных сетей электроэнергетических систем неизбежно возникают проблемы рационального распределения потоков мощности по ветвям. Нередко возникают ситуации, в которых некоторые ветви оказываются незагруженными при соответствующей перегрузке других параллельных связей. Устранение этого эффекта за счет разделения узлов питания отдельных линий приводит к снижению надежности работы сети и не всегда может быть обеспечено. Появившаяся в последнее время технология IPC (Interphase Power Controller) позволяет решать эти вопросы при полном сохранении ранее сложившейся структуры транспортной сети и существующих в ней электрических связей.

Устройство IPC имеет два основных варианта исполнения:

- IPC с центрированными характеристиками;
- IPC со смещенными характеристиками.

Вариант устройства с центрированными характеристиками (Generic IPC) рассмотрен в [1].

Предметом рассмотрения настоящей работы является устройство [2] со смещенными характеристиками (Adopted IPC), обладающее некоторыми характерными особенностями.

Учитывая, что прямой перевод понятия Interphase Power Controller оказывается лишенным смыслового содержания, будем условно пользоваться понятием Параметрический Стабилизатор Мощности.

Схемный вариант параметрического стабилизатора мощности со смещенными характеристиками представлен на Рис.1.

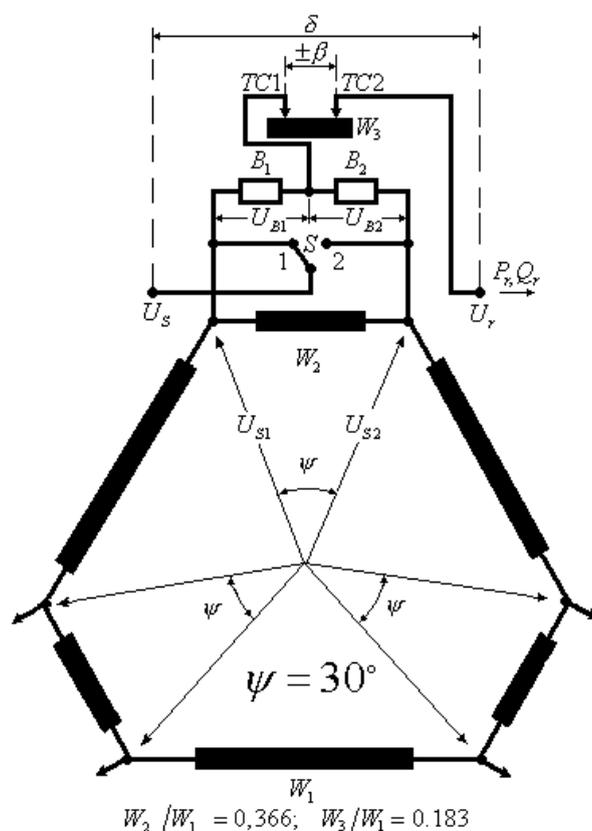


Рис.1. Схема регулируемого параметрического стабилизатора мощности со смещенными характеристиками

Устройство состоит из фазосдвигающего трансформатора с углом ψ , образованного обмотками W_1 и W_2 . Знак угла ψ устанавливается переключателем S . Параллельно фазосдвигающим обмоткам (W_2) включены последовательно соединенные парные реактансы B_1 и B_2 , один из которых образован батареей статических конденсаторов, второй – соответствующим индуктором. При этом $|B_1| = |B_2| = B$. Входное напряжение (U_s) подведено к подвижному контакту переключателя S . Общая точка соединения проводимостей B_1 и B_2 выведена на подвижный контакт ($TC1$) переключателя ответвлений дополнительной регулировочной

обмотки (W_3) фазосдвигающего трансформатора. Второй подвижный контакт этой обмотки ($TC2$) непосредственно связан с выходным напряжением (U_r). Угол β , отсчитываемый между контактами $TC1$ и $TC2$, регулируется в пределах $\pm \frac{\psi}{2}$ и характеризует управляемость устройства.

В соответствии с методикой, изложенной в [1], могут быть получены уравнения, определяющие активную и реактивную составляющие мощности на выходе устройства, которые имеют следующий вид:

$$P_r = S_{rm} \cdot \cos \beta \cdot \cos \left(\delta - \beta - \frac{\psi}{2} \right);$$

$$Q_r = -S_{rm} \cdot \cos \beta \cdot \sin \left(\delta - \beta - \frac{\psi}{2} \right),$$

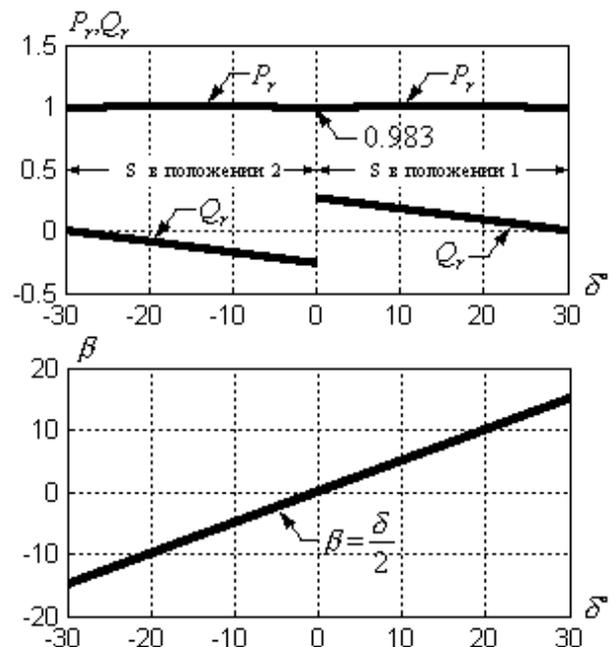
$$\text{где } S_{rm} = 2BU^2 \sin \frac{\psi}{2}.$$

Мощность S_{rm} при $|U_s| = |U_r| = U$ характеризует максимальную величину проходной мощности и определяется значениями параметров B и ψ , что дает основания считать рассматриваемое устройство параметрическим.

Угол δ является независимой переменной и определяется режимом сети. Регулируемый угол β обеспечивает задаваемые условия передачи активной и реактивной мощности при изменении δ в пределах $\pm \frac{\psi}{2}$. Характер поведения устройства при этом определяется законом управления параметром β в зависимости от текущего значения угла δ .

Рассмотрим некоторые из этих законов, учитывая, что сопоставимость расчетных результатов может быть обеспечена путем незначительной корректировки величины $S_{rm} = 2BU^2 \sin \frac{\psi}{2}$ за счет соответствующего изменения проводимости B . При выполнении этого условия все расчетные характеристики становятся совместимыми. Для всех расчетных вариантов принимаем $\psi = \pm 30^\circ$.

В случае линейного закона управления $\left(\beta = \frac{\delta}{2} \right)$ выходные характеристики устройства имеют вид, представленный на Рис.2. Там же указаны значения B и S_{rm} (в относительных единицах), при которых для данного закона управления, характеристика активной мощности достигает значения $P_r = 1$.



$$\psi = 30^\circ; B = |B_1| = |B_2| = 1.966;$$

$$S_{rm} = 2BU^2 \sin \frac{\psi}{2} = 1.0175.$$

Рис.2 Характеристики устройства при линейном законе управления

Можно утверждать, что принятый закон управления обеспечивает достаточно высокую степень жесткости характеристик $P_r(\delta)$, а в зависимости от знака угла ψ , определяемого положением переключателя S , соответствующая характеристика смещается в ту или иную сторону относительно центра ($\delta = 0$) на угол $\pm \frac{\psi}{2}$.

Характеристики реактивной мощности $Q_r(\delta)$ на участках диапазона изменения δ детерминированы, практически линейны и противоположны по знаку. При $\delta = 0$ передаваемая реактивная мощность достигает максимальной величины, при $\delta = \pm \psi$ реактивная мощность становится равной нулю.

В некоторых практических ситуациях со стороны энергосистемы может быть выдвинуто условие передачи активной мощности при нулевом значении реактивной на всем диапазоне изменения угла δ . Этому условию отвечает кусочно-линейный закон управления $\beta = \delta \pm \frac{\psi}{2}$. Выходные характеристики, при скорректированных значениях B и S_{rm} , представлены на Рис.3. Из рассмотрения этих характеристик видно, что условие $Q_r = 0$ достигается за счет некоторого снижения степени жесткости

характеристики $P_r(\delta)$, однако стабилизирующие свойства регулятора по активной мощности сохраняются и могут считаться приемлемыми.

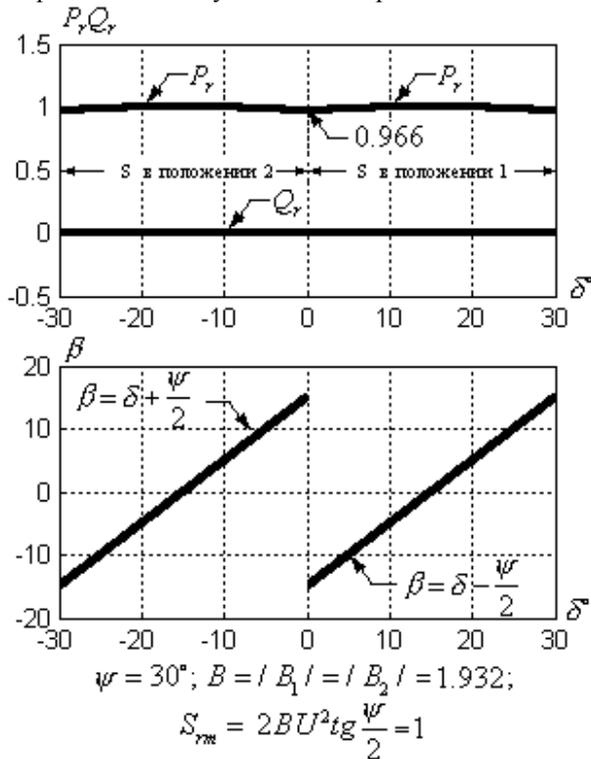


Рис.3 Характеристики устройства при кусочно-линейном законе управления

Данный закон управления, обеспечивающий $Q_r = 0$, позволяет также стабилизировать напряжения U_{B1} и U_{B2} , приложенные к парным проводимостям. В процессе статического регулирования угла β эти напряжения изменяются в соответствии с равенством:

$$|U_{B1}| = |U_{B2}| = |U_s| \sqrt{\left[\cos^2 \beta - \cos\left(\frac{\psi}{2} + \beta\right) \right]^2 + \left[\sin\left(\frac{\psi}{2} + \beta\right) - \cos \beta \cdot \sin \beta \right]^2}$$

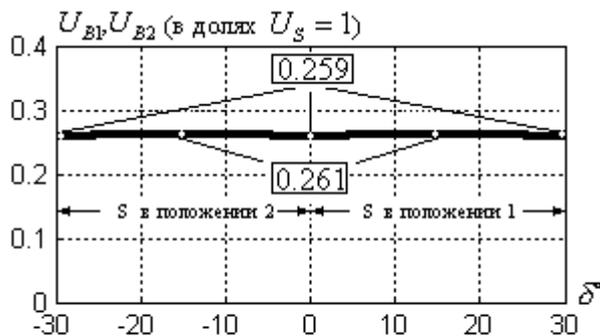


Рис.4 Графики изменения напряжений U_{B1} и U_{B2} при кусочно-линейном законе управления

График изменения указанных напряжений при $\beta = \delta - \frac{\psi}{2}$ представлен на Рис.4, из которого

видно, что при изменении угла δ напряжения U_{B1} и U_{B2} остаются практически неизменными. Стабильность режима парных проводимостей следует считать положительным проявлением рассматриваемого закона управления.

Абсолютная стабилизация характеристики $[P_r(\delta) = 1]$ может быть достигнута за счет нелинейного закона управления, вытекающего из совместного решения уравнений $P_r(\delta)$ и $Q_r(\delta)$, который определяется следующим образом:

$$\beta' = \frac{S_{rm} \sin\left(\delta - \frac{\psi}{2}\right) \pm \sqrt{S_{rm}^2 \sin^2\left(\delta - \frac{\psi}{2}\right) - 4\left[1 - S_{rm} \cos\left(\delta - \frac{\psi}{2}\right)\right]}}{2}$$

$$\beta'' = \frac{S_{rm} \sin\left(\delta + \frac{\psi}{2}\right) \pm \sqrt{S_{rm}^2 \sin^2\left(\delta + \frac{\psi}{2}\right) - 4\left[1 - S_{rm} \cos\left(\delta + \frac{\psi}{2}\right)\right]}}{2}$$

При этом β' соответствует области положительных значений угла δ , а β'' - отрицательных. Расчетные характеристики $P_r(\delta)$ и $Q_r(\delta)$ для данного закона управления изображены на Рис.5.

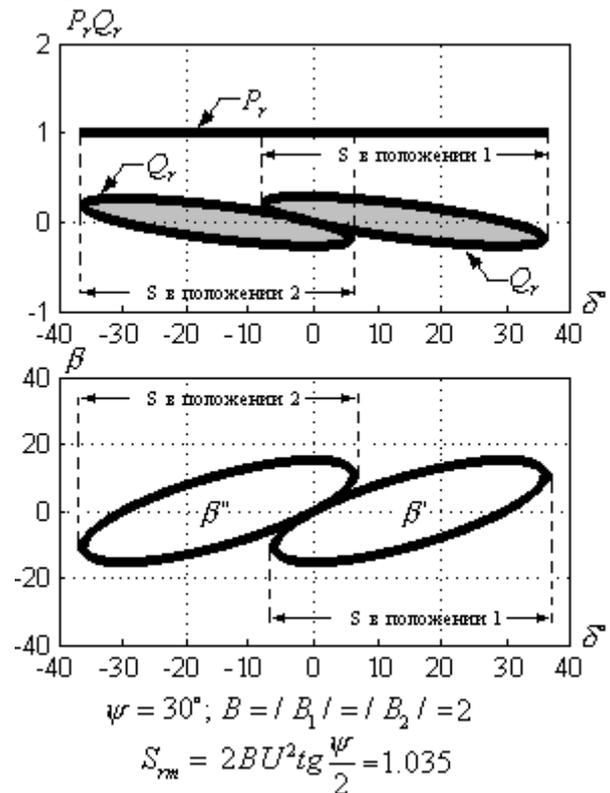


Рис.5 Характеристики устройства при нелинейном законе управления

Эллипсоподобные фигуры β' и β'' характеризуют предельные значения угла регулирования, при которых на всем диапазоне изменения δ выполняется условие $P_r = 1$. Неоднозначность связи между P_r и Q_r определяет

возможность независимого регулирования реактивной мощности. Другими словами, может быть задана любая точка в области заштрихованных фигур, характеризующих Q_r . Обращает на себя внимание и тот факт, что эти фигуры взаимно перекрываются в окрестностях $\delta = 0$ и выходят за пределы $\delta = \pm 30^\circ$, что свидетельствует о значительном расширении регулировочных возможностей устройства.

Схемный вариант регулируемого параметрического стабилизатора мощности, представленный на Рис.1, может быть преобразован в устройство, управляемое с помощью средств силовой электроники, способное оказывать принудительное воздействие на динамические режимы, обусловленные колебаниями угла δ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулируемый параметрический стабилизатор мощности со смещенными характеристиками является достаточно простым техническим изделием, представляющим собой комбинацию элементов, получивших практическое применение в энергосистемах. Обладая выраженными стабилизирующими свойствами по активной мощности, устройство может быть использовано для регулирования реактивной

мощности в узлах транспортной сети.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kalinin L.P., Cebotari S.I., Zaitsev D.A. *Regimul static al stabilizatorului parametric a puterii active*, Problemele energeticii regionale, Revista electronica N1, Chisinau, 2005.
- [2] , J.Brochu, F.Beauregard, Et al., *Interphase power controller adapted to the operating conditions of networks* IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.2, April 1995.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Калинин Лев Павлович, 31.07.34, Ведущий научный сотрудник Лаборатории электрофизики и техники высоких напряжений Института Энергетики АНМ, кандидат технических наук.

Зайцев Дмитрий Александрович, 10.04.63, Старший научный сотрудник Лаборатории электрофизики и техники высоких напряжений Института Энергетики АНМ, кандидат технических наук.

Чеботарь Сергей Иванович, 25.01.64, Заместитель главного диспетчера – начальник службы электрических режимов ГП Молдэлектрика

