

УДК.621.316.1.014

ВЫБОР И УПРАВЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

РАХМАНОВ Р. Н.

*Азербайджанский научно-исследовательский институт Энергетики и
Энергетического проектирования.*

В работе рассматриваются вопросы выбора схемы СКРМ с управлением и без управления выдаваемой в сеть реактивной мощности. Приводятся результаты расчета параметров компенсирующего устройства для ДСП – 50, эксплуатируемой на заводе Бакинской сталелитейной компании.

1. Введение.

Характерной особенностью режимов сетей электроснабжения дуговых сталеплавильных печей (ДСП) является наличие сложных искажений ее параметров, проявляющихся в одновременном возникновении колебаний и отклонений напряжения, несинусоидальности тока и несимметрии напряжения. Уровень этих искажений часто превышает ограничения, предусмотренные в ГОСТ 13109-97, что отрицательно сказывается на работе многих потребителей электроэнергии, а именно: ЭВМ, систем автоматики, телемеханики, АСУ, логической аппаратуры и др. Они также влияют на режим работы внешней питающей сети, создавая в ней дополнительные потери электроэнергии.

Для ДСП, помимо большого потребления реактивной мощности и генерации токов высших гармоник, характерны несимметрия потребляемой мощности по фазам питающего напряжения и броски реактивной мощности, в два и более раз превышающие номинальную мощность печного трансформатора. При этом в питающей сети возникают колебания напряжения (фликер), вредно воздействующие на остальных потребителей электроэнергии. Многочисленные исследования, проведенные Международным союзом электротермии, показали, что колебания напряжения не выходят за допустимые пределы в тех случаях, когда мощность трехфазного к.з. энергосистемы в точке подключения ДСП к шинам общего назначения в 80 – 100 раз больше мощности эквивалентной печи [1,2]. Но в реальных условиях в точках подключения сталеплавильных предприятий к энергоснабжающей организации не соблюдается указанное соотношение между мощностью печи и мощностью к.з. энергосистемы, поэтому для сокращения уровня фликера до допустимого ГОСТ значения осуществляется компенсация реактивной мощности путем применения статических компенсаторов реактивной мощности (СКРМ). В настоящее время на основе разработанных типов СКРМ достигается уменьшение колебания напряжения в 8 – 10 раз [2]. Расчет величины компенсируемой мощности и соответственно выбор СКРМ выполняется индивидуально для каждого ДСП в соответствии с параметрами схемы электроснабжения, характеристиками компенсируемой нагрузки и требований по качеству электроэнергии. Для каждого случая производится расчет требуемой мощности параллельно включенных батарей конденсаторов и регулируемого реактора.

2. Методика расчета мощности и выбор СКРМ для ДСП.

Величина реактивной мощности, подлежащей компенсации в схеме электроснабжения ДСП с помощью СКРМ, определяется на основе параметров режима электропечной нагрузки, задаваемых в виде следующей совокупности данных:

- номинальная мощность печного трансформатора;
- кратность тока эксплуатационного короткого замыкания (э.к.з.);
- среднее значение активной мощности ДСП;
- среднее и максимальное значение реактивной мощности ДСП;
- среднее и максимальное значение токов высших гармоник ДСП.

На этапе проектирования электроснабжения конкретного ДСП выше указанные параметры рабочего режима печи рассчитываются известными методами на основе моделирования характеристик электротермических процессов протекающих в печи. При этом выбор типа и мощности компенсирующего устройства производится исходя из необходимости обеспечения заданной величины коэффициентов мощности (обычно $\text{tg}\phi$ для каждого энергопотребителя экономически обосновывается энергоснабжающей организацией) и снижение уровня фликера в точке подключения ДСП к сети общего назначения до допустимого уровня.

Учитывая, что потребляемая реактивная мощность ДСП в рабочем режиме имеет быстро изменяющийся колебательный характер, то для ее компенсации используются СКРМ с управлением реактивного тока в зависимости от напряжения сети. Существует два типа управления реактивного тока в СКРМ: с помощью насыщающегося реактора (НР) [2,3] и тиристорно-реакторной группой, так называемых СТК [1].

Схема СКРМ с насыщающимся реактором и его вольтамперная характеристика показаны на Рис.1. Здесь отсутствует внешняя система управления, которая является инерционным звеном при решении задачи уменьшения колебания напряжения. СКРМ имеет рабочую область на результирующей вольтамперной характеристике за “коленом” кривой, где зависимость реактивного тока от напряжения сети приблизительно может быть принята линейной (Рис.1(б) участок на вольтамперной характеристике СКРМ, заключенной между точками 1 и 2).

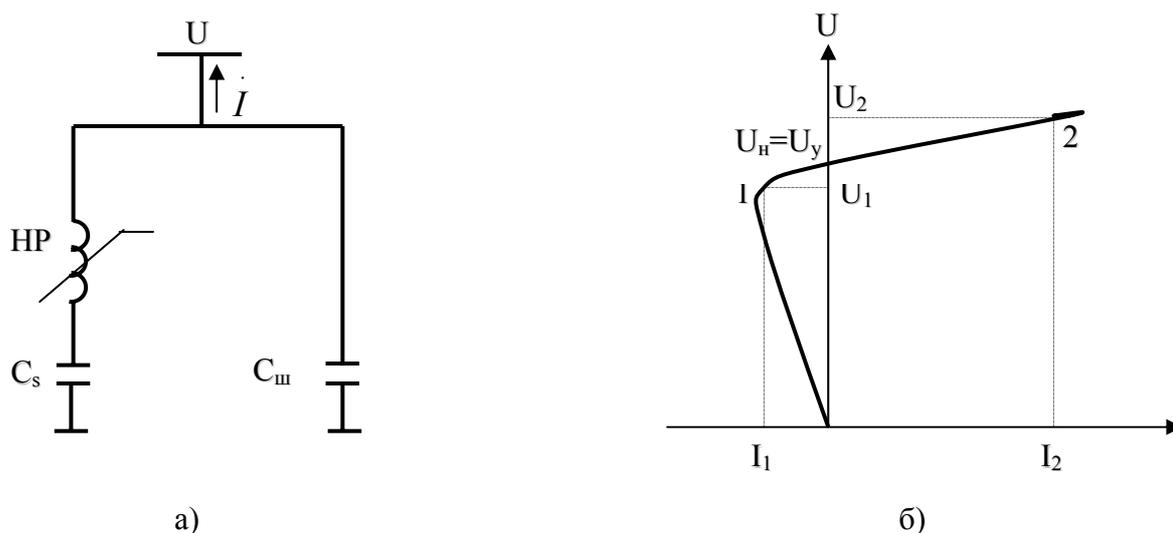


Рис.1. Схема СКРМ с насыщающимся реактором и его вольтамперная характеристика.

При снижении напряжения сети почти пропорционально снижаются ток и реактивная мощность, потребляемая НР. При этом реактивная мощность батарей

конденсаторов изменяется относительно незначительно, а поэтому выдача реактивной мощности в сеть осуществляется за счет резкого увеличения мощности шунтовой батареи конденсаторов ($C_{ш}$).

В случае повышения напряжения увеличивается потребляемая реактором реактивная мощность. Таким образом, путем быстрого параметрического изменения реактивной мощности СКРМ как по величине, так и по знаку, осуществляется уменьшение колебаний напряжения.

Суммарная мощность СКРМ при пренебрежении активными потерями, определяется разностью мощностей батарей конденсаторов (БК)- Q_C и НР- Q_L

$$Q_{\Sigma} = \pm (Q_L - Q_C) \quad (1)$$

Диапазон изменения Q_{Σ} определяется соотношением мощностей БК и НР. Если предположить, что мощность, потребляемая реактором, может изменяться от нуля до номинальной, то при равенстве установленных мощностей БК и НР суммарная мощность будет изменяться в пределах

$$0 \leq Q_{\Sigma} \leq Q_C \quad (2)$$

В этом случае СКРМ будет генерировать реактивную мощность в сеть. В случае, когда мощность НР больше мощности БК, СКРМ может работать как в режиме генерации, так и в режиме потребления реактивной мощности. Одна из важных особенностей СКРМ с НР состоит в том, что напряжение на реакторе и на батарее конденсаторов равно напряжению сети и не зависит от режима его работы. Поэтому СКРМ можно непосредственно включать в сеть без промежуточного трансформатора.

Известно, что в схеме электроснабжения ДСП наиболее корректно решение вопросов компенсации реактивной мощности рассматривать совместно с вопросами фильтрации высших гармоник. Применение СКРМ с внешним управляемым реактором, реализованным в виде СТК, в настоящее время получило большое распространение [4]. В СТК, одновременно с функциями компенсации реактивной мощности, реализуются также функции фильтрации высших гармоник. Основная схемная конфигурация СТК, приведенная на Рис.2, включает в себя фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ), постоянно подключенные к шинам электропечной нагрузки и являющиеся источником реактивной мощности (Q_C), и включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами реакторов-тиристорно-реакторную группу (ТРГ), являющуюся плавно регулируемым потребителем реактивной мощности (Q_L).

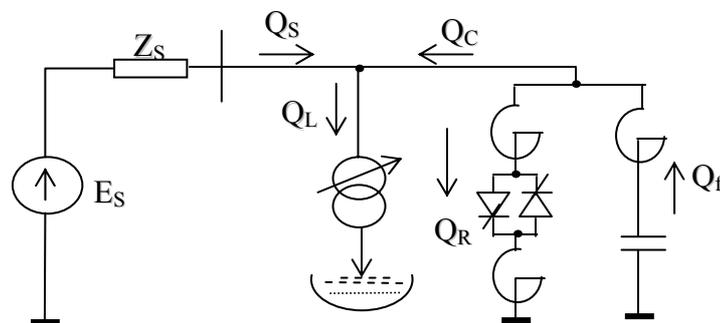


Рис.2 Схемная конфигурация СТК для системы электроснабжения ДСП.

Рассмотрим эффективность использования СТК в качестве СКРМ в системе электроснабжения ДСП. На Рис.3 (а, б) показаны схема распределения и компенсации

реактивных мощностей в сети, когда в качестве компенсатора используются некоммутируемые БК с ФКУ (первый вариант).

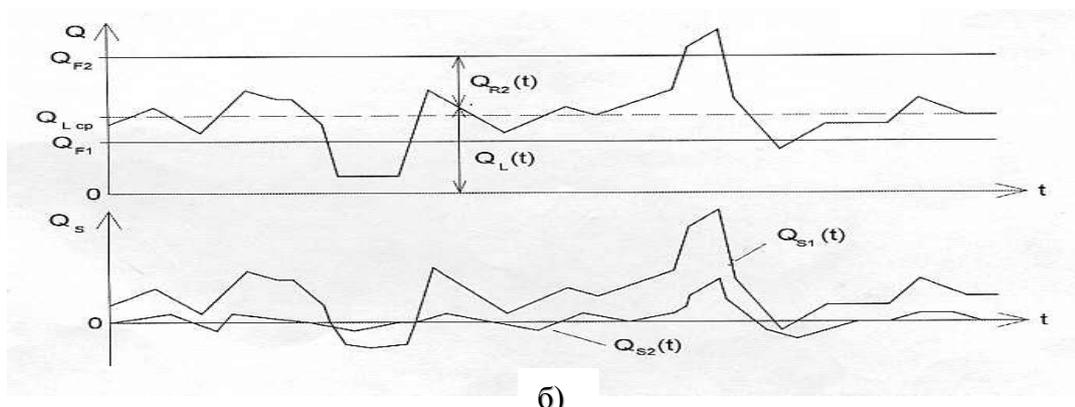
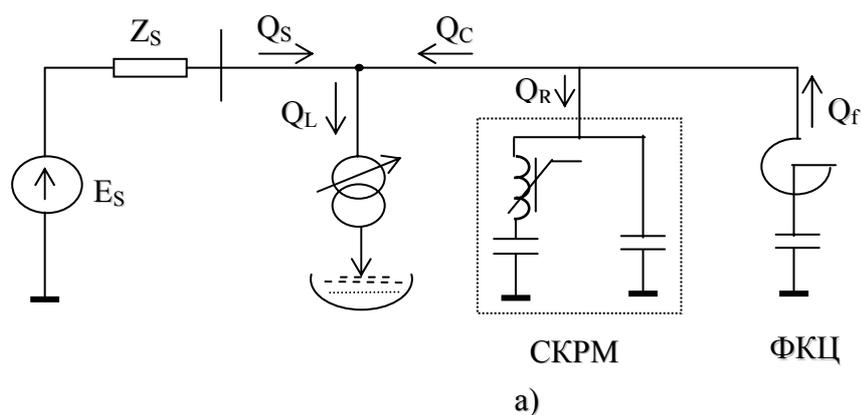


Рис. 3 Схема компенсации реактивной мощности с некоммутируемой СКРМ и СТК.

При варианте применения некоммутируемого БК с ФКУ генерируемая установкой реактивная мощность $Q_C = (Q_{f1} - Q_{R1})$ выбирается в соответствии с (1), исходя из средней реактивной мощности печной нагрузки Q_L и допустимом коэффициенте мощности. При этом переменная составляющая потребляемой из сети реактивной мощности Q_S будет повторять график изменения $Q_L(t)$, вызывая отклонения и колебания напряжения на шинах нагрузки.

При установке СТК (второй вариант) вместо некоммутируемой БК с НР в схеме Рис.3(а) реактивная мощность Q_{f2} , генерируемая ФКЦ, всегда превышает значение Q_L , а текущее значение реактивной мощности ТРГ $Q_L(t)$ в каждый момент времени выбирается как

$$Q_L(t) = Q_{f2} - Q_L(t) \quad (3)$$

Вольтамперная характеристика имеет некоторый статизм, определяемый в виде

$$K_c = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \cdot \frac{1}{U_n} \cdot 100\% \quad (4)$$

Значение K_c определяется условиями точности поддержания напряжения и располагаемой мощностью СКРМ и обычно принимается равным 2.5 %. Величина статизма регулируется посредством серийного конденсатора C_s . Напряжение уставки U_y выбирается равным номинальному напряжению в узле подключения U_n , что соответствует условию, при котором СКРМ не потребляет и не выдает реактивную мощность (мощность, генерируемая конденсаторами $C_{ш}$, равна мощности,

потребляемой реактором).

Как показывает опыт [3,4], использование СТК в сетях электроснабжения ДСП одновременно с выполнением им основных функций приводит к улучшению качественных и количественных показателей сталелитейного процесса.

3. Анализ режима реактивной мощности ДСП и оценка величины ее компенсации с помощью СКРМ.

Схема электроснабжения и основные параметры сети и элементы печной установки, эксплуатируемой в BSC, приведены в [5]. С целью анализа характеристик реактивной нагрузки, потребляемой ДСП BSC, совместно со специалистами НПО «Энерготехнология» (г. Москва) были проведены испытания.

Система электроснабжения электропечи испытывалась в режимах холостого хода (отсутствие нагрузки) и при изменяющейся нагрузке электропечи. Испытания проводились на двух ступенях реактивности серийного реактора – 5 (реактор выведен из работы) и 1 (реактор полностью введен).

Испытания проводились в двух режимах электропечи: в режиме промышленной плавки без вмешательства в рабочий процесс; в специально создаваемых режимах (эксплуатационные короткие замыкания).

Измерения электрических параметров ДСП в режимах трехфазных эксплуатационных коротких замыканий проводились на 12-ой и 16-ой ступенях напряжения печного трансформатора.

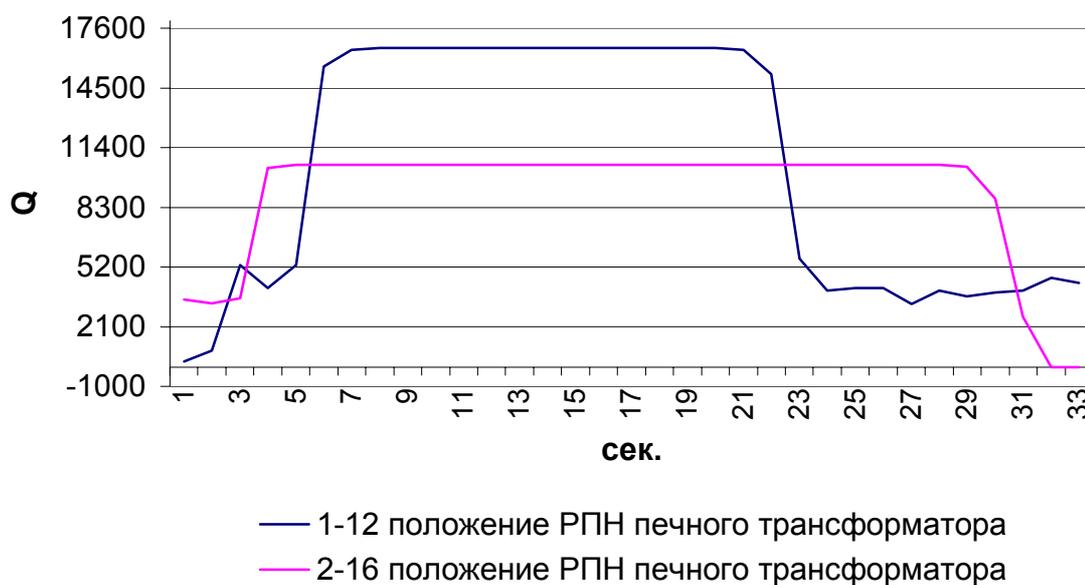


Рис.4 Изменения потребляемой реактивной мощности ДСП – 50 в режимах эксплуатационных коротких замыканий.

На Рис.4 и 5 показаны кривые изменения реактивной мощности и напряжение печи в интервале (1-40) сек в режиме эксплуатационных к.з. Из анализа этих кривых четко видно, что резкое сокращение напряжения обусловлено аналогичным увеличением потребляемой реактивной мощности.

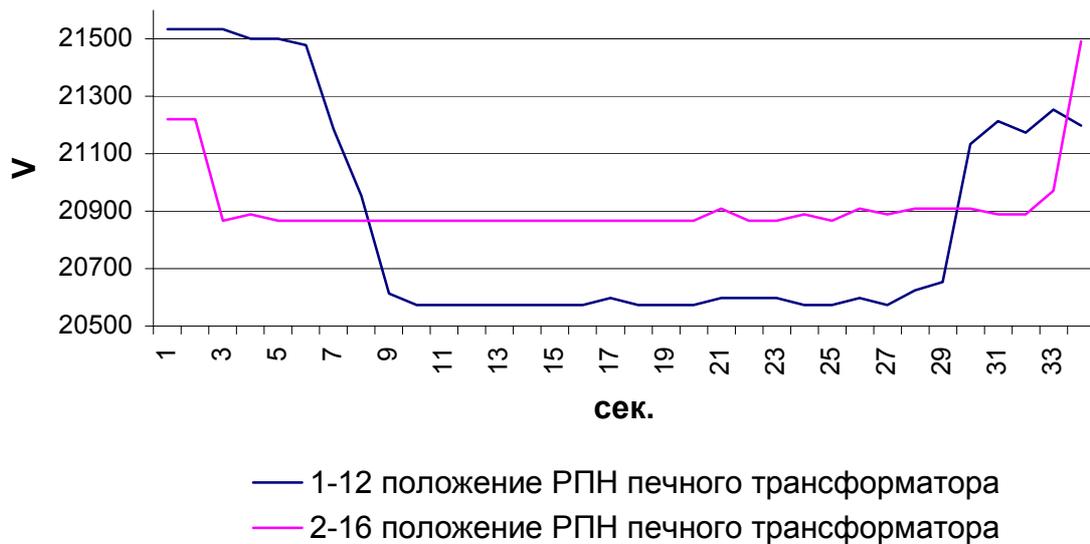


Рис.5 Изменения напряжения печного трансформатора ДСП – 50 в режимах эксплуатационных коротких замыканий.



Рис.6 Изменение реактивной мощности ДСП-50 в рабочих режимах.

На Рис.6 показана кривая изменения реактивной мощности печи в рабочем режиме в течение четырех минут. Как видно из сопоставления Рис.4 и 6, максимумы выбросов секундных колебаний $Q_{п}$ при эксплуатационных к.з. и нормальной эксплуатации кратно отличаются, что подтверждает высокий уровень токов эксплуатационного короткого замыкания при выведенном из схемы реакторе.

4. Резюме

1. Резкопеременный характер режима ДСП создает значительные колебания напряжения и реактивной мощности в сети электроснабжения, эффективная компенсация которых в каждом конкретном случае требует проведения экспериментально-расчетных исследований для обоснования выбора технического решения.
2. СКРМ с насыщающимися реакторами и СТК являются мощными современными средствами регулирования режима потребления реактивной мощности ДСП и соответственно компенсации колебаний напряжения во внешней электрической сети.
3. На основе проведенных экспериментальных исследований для ДСП-50 тон, эксплуатируемый ВСК, получены зависимости изменений активной и реактивной мощности, напряжения, коэффициента мощности печи в режимах эксплуатационных коротких замыканий (э.к.з.) и в нормальных рабочих режимах. На основе анализа экспериментов установлены кратность тока э.к.з., среднее значение активной и реактивной мощностей ДСП, максимальное значение реактивной мощности.
4. Показано, что применение некоммутируемой батареи конденсаторов с параллельно включенным ФКУ не достаточно обеспечивает компенсацию колебания напряжения во внешней электрической сети.
5. Установлено, что при существующих соотношениях мощностей для нормальных рабочих режимов и режимов э.к.з. для обеспечения параметров качества электроэнергии требуется установка на шинах 35 кВ ДСП ВСК статического тиристорного конденсатора, содержащего тиристорно-реакторную группу (ТРГ) и набор фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ) равной мощности.

-
1. *Чуприков В.С.* Расчет влияния тиристорного компенсатора реактивной мощности на длительность плавки ДСП.// Сборник научных трудов ВНИПИ Тяжпромэлектропроект “Новые разработки в области проектирования электроснабжения и электрооборудования электротермических установок”. М., Энергоатомиздат, 1992
 2. *Забудский Е.И.* Анализ электромагнитных режимов совмещенных управляемых устройств электроэнергетического назначения // Энергосбережение.–1999.–Вып. № 1., с. 62 – 75
 3. *Забудский В.И.* Совмещенные регулируемые электромагнитные устройства для улучшения качества электроэнергии // Энергосбережение.–1998. Вып. № 3, с.37– 42
 4. *Кузьменко В.А., Чуприков В.С.* Цифровые системы автоматического управления статического тиристорного компенсатора реактивной мощности. // Труды Международного н/т семинара “Современные технологии в задачах управления и обработки информации”. М., изд-во МАИ, 1996
 5. *Мамедяров О.С., Рахманов Р.Н.* Особенности схемы и режимов сети электроснабжения сталеплавильного производства в Азербайджане. // Проблемы энергетики.-2001.-№ 4.-с. 124-128.

**ELEKTRİK QÖVS SOBALARININ ELEKTRİK TƏCHİZATI ŞƏBƏKƏLƏRİNİN
REAKTİV GÜCÜNÜN STATİK KOMPENSATORLARLA SEÇİMİ
VƏ İDARƏ EDİLMƏSİ**

RƏHMANOV R.N.

Bu işdə şəbəkəyə ötürülən reaktiv gücün idarə olunan və idarə olunmayan reaktiv güc statik kompensatorlarının (RGSK) sxeminin seçimi məsələlərinə baxılıb. Bakı poladəritmə kompaniyasında istismar edilən DSP-50 üçün RGSK parametrlərinin hesablamaları verilib.

**SELECTION AND CONTROL OF REACTIVE POWER BY STATIC
COMPENSATORS IN ELECTRIC ARC FURNACE POWER SUPPLY NETWORKS.**

RAKHMANOV R.N.

In the paper there are considered problems of selection of static VAR compensation (SVARC) networks with and without control of transferred reactive power to the power system. There are given the calculation results of SVARC parameters for EAF-50 used in Baku steel company.