



УДК 669.094.82

Поступила 31.01.2017

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ОАО «БМЗ» EFFECTIVENESS OF STATIC THYRISTOR COMPENSATORS SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF OJSC «BSW»

А. И. РОЖКОВ, А. И. РОЖКОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: andreYROgkov73@yandex.ru,

В. В. ЛОГВИН, А. В. КОЗЛОВ, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: logvv@tut.by,

О. М. ГРУДНИЦКИЙ, А. В. ФЕКЛИСТОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: ovs.tu@bmz.gomel.by

A. I. ROZHKOVA, A. I. ROZHKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: andreYROgkov73@yandex.ru,

V. V. LOGVIN, A. V. KOZLOV, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: logvv@tut.by,

O. M. GRUDNITSKY, A. V. FEKLISTOV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: ovs.tu@bmz.gomel.by

В статье рассматриваются вопросы технической и экономической эффективности системы статических тиристорных компенсаторов на примере Белорусского металлургического завода. Представлена информация об исследованиях системы электроснабжения электросталеплавильных цехов. Приведены данные величины высших гармоник дуговой сталеплавильной печи и печи-ковша. Показаны графики тока, напряжения, мощностей при работе дуговой сталеплавильной печи как с системой тиристорных компенсаторов, так и без нее.

The issues of technical and cost efficiency of system of static thyristor compensators on the example of the Belarusian steel works are considered. Information on researches of system of power supply of arc-furnace melting shops is provided. The data of the highest harmonics of the arc steel-melting furnace and ladle furnace are specified. The diagrams of current, voltage, capacities during the operation of the arc arc melting furnace both with system of thyristor compensators, and without it are provided.

Ключевые слова. Система статических тиристорных компенсаторов, фликкер-эффект, высшие гармоники, дуговая сталеплавильная печь, печь-ковш, электроды, активная, реактивная, полная мощность, расход электродов, кордовые марки сталей.

Keywords. System of static thyristor compensators, flicker effect, the highest harmonics, arc steel-smelting furnace, ladle furnace, electrodes, active, reactive, full capacity, consumption of electrodes, cord steel brands.

Белорусский металлургический завод является одним из самых мощных потребителей электроэнергии в Гомельской области. Две трети электроэнергии потребляется тремя дуговыми сталеплавильными печами (ДСП) и двумя установками печь-ковш (ПК). Мощность печных трансформаторов – по 95 МВА, печи-ковша – 20 МВА [1].

Описанный в любом учебнике по электроснабжению пример, когда на металлургическом заводе три печи, то их график работы составляется так, чтобы две работали, а третья в это время не работала с целью уменьшения пиковой потребляемой мощности, на БМЗ не выполняется. Выплавка стали в ДСП – процесс настолько непредсказуемый и трудно прогнозируемый, что выполнение описанного выше алгоритма практически невозможно. Второй момент – экономически выгодно загружать ДСП по максимуму, чем не включать одну из трех печей, пока работают две другие.

Сотрудниками БМЗ совместно с другими организациями была проведена работа по определению эффективности работы системы статических тиристорных компенсаторов. На рис. 1–3 показаны изме-

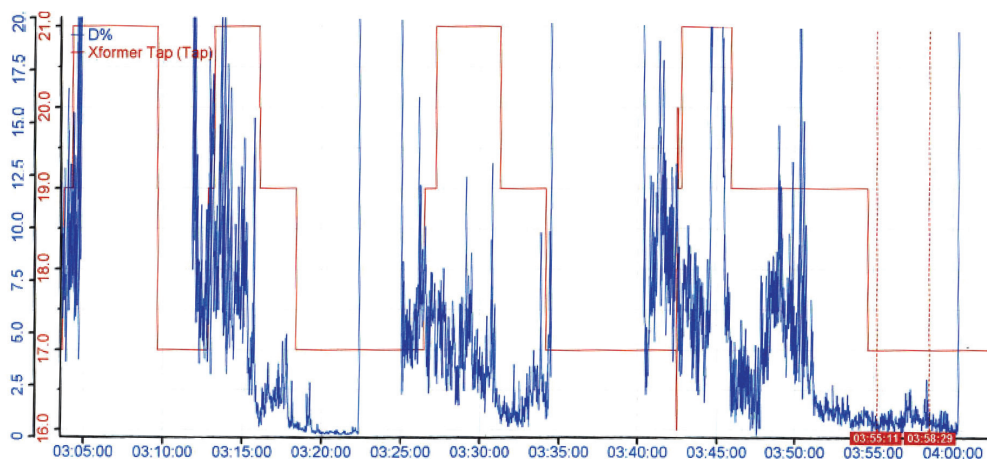


Рис. 1. Изменение доли высших гармоник токов (синий график) и номера работающей ступени (красный график) за время одной плавки

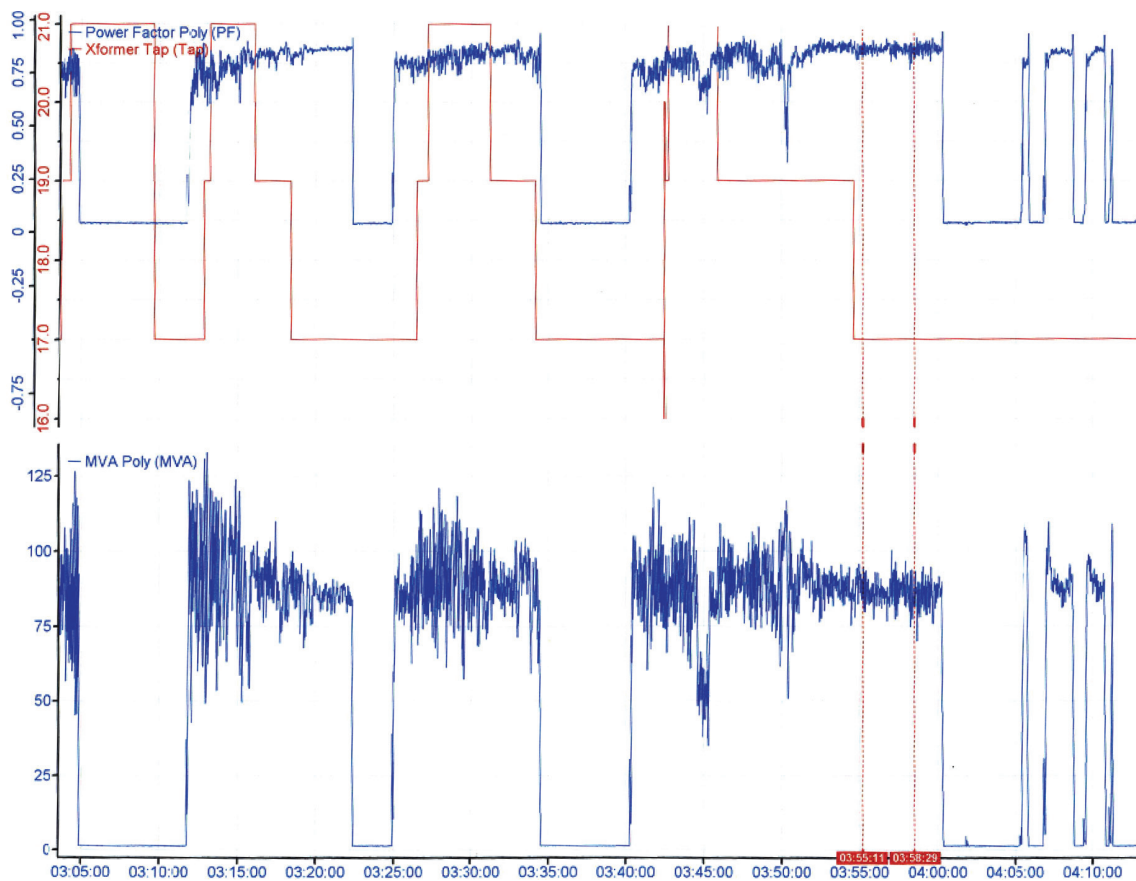


Рис. 2. Изменение коэффициента мощности (синий график сверху) и полной мощности S (синий график внизу) за время одной плавки

нения электрических параметров ДСП за время одной плавки. В табл. 1 приведены значения токов высших гармоник ДСП и ПК относительно тока первой гармоники. Как видно из рисунков, ДСП является достаточно сложным электроприемником: токи, мощности, доля высших гармоник токов изменяются в широких пределах и очень быстро. Только система статических тиристорных компенсаторов может оперативно снизить негативное воздействие на питающую сеть.

Таблица 1. Гармоники тока ДСП и ПК, %, относительно тока первой гармоники

№	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ДСП	5,2/12,8	7/15,1	2,5/5,1	4/6,7	1,3/2,8	1,5/3,6	0,8/1,5	0,9/1,8	0,6/1,1	0,6/1,2
ПК	1,5/2,8	3,2/4,9	0,6/1,1	2,3/3,6	0,5/1,0	1,2/2	0,2/0,4	0,3/0,7	0,1/0,2	0,2/0,5

Примечание: среднее значение/максимальное значение.

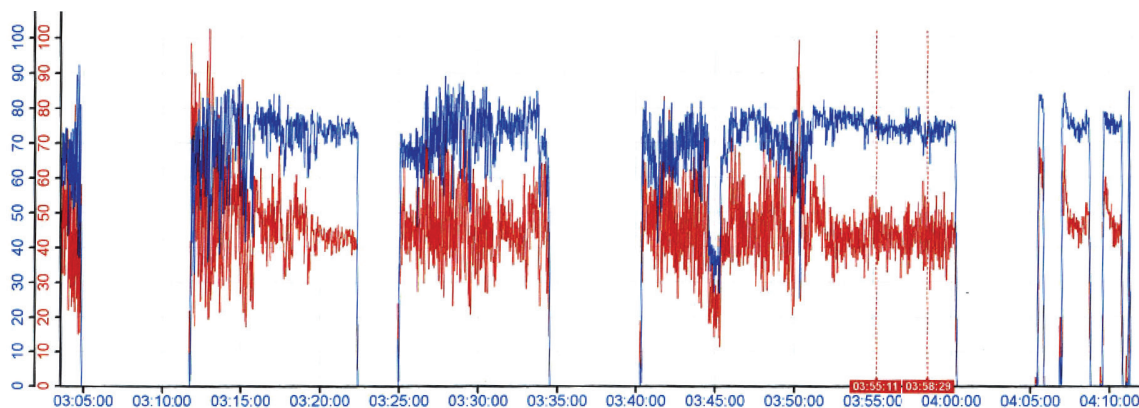


Рис. 3. Изменение активной (синий график) и реактивной мощностей (красный график) за время одной плавки

Так как мощность трансформатора ПК почти в 5 раз меньше мощности печного трансформатора, потребление электроэнергии гораздо более равномерное, высших гармоник тока меньше, то влияние работы ПК на электрическую сеть не рассматривается.

После оценки работы ДСП и ПК как электроприемников была произведена оценка системы электроснабжения. Для этого было проведено два опыта по набросу реактивной нагрузки на сеть, которая до этого работала в режиме холостого хода. Испытания в режимах эксплуатационных коротких замыканий проводили при отключенном тиристорном компенсаторе реактивной мощности.

Экспериментальные и расчетные данные испытаний системы электроснабжения ДСП приведены в табл. 2.

Таблица 2. Определение параметров электрической сети

Номер испытания	Режим сети	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	U_{cp} , В	Q , квар	X_c , Ом	$S_{кз}$, МВА
1	Холостой ход	33 207	33 242	33 144	33 198	–	2,04	534
	Наброс	28 658	28 349	28 584	28 530	65 274		
2	Холостой ход	33 207	33 333	33 099	33 213	–	2,06	529
	Наброс	28 778	28 275	28 458	28 504	64 944		

Примечания. U – линейные напряжения на шинах 33 кВ; Q – реактивная мощность; X_c – реактивное сопротивление сети; $S_{кз}$ – мощность трехфазного короткого замыкания на шинах 33 кВ.

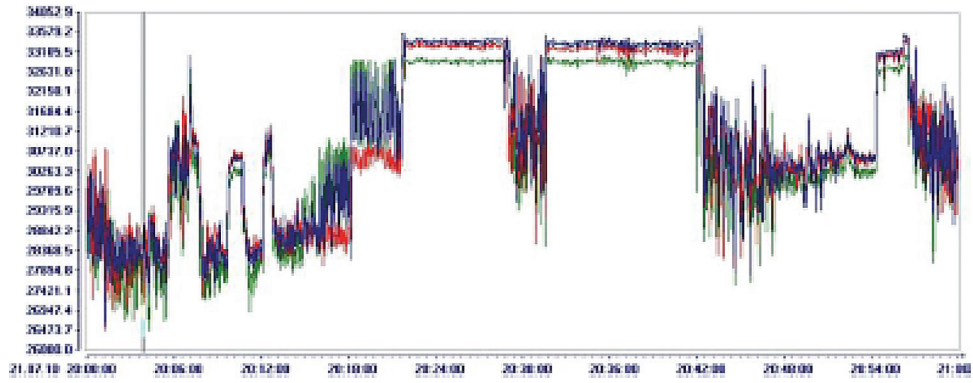
Затем были проведены эксперименты, когда вместо потребителей реактивной энергии подключали ДСП и ПК при отключенном СТК. На рис. 4 представлены результаты измерений напряжения на шинах 33 кВ, активной, реактивной и полной мощности, потребляемой ДСП № 1 и ДСП № 2, и дозы фликера P_{st} при отключенном СТК. Как видно из рисунка, напряжение на шинах 33 кВ в режиме холостого хода составляет 32,8–33,1 кВ. Включение любой из ДСП приводит к снижению среднего значения напряжения до 30–31 кВ в зависимости от режима работы ДСП и ступени напряжения трансформатора ДСП. Одновременная работа двух ДСП и ПК вызывает снижение среднего значения напряжения до 28 кВ. Дальнейшее увеличение нагрузки не имеет смысла, так как это приведет к значительному ухудшению работы ДСП и ПК как технологических агрегатов. Суммарная активная мощность электропечной нагрузки в режиме работы без СТК составляет 127–130 МВт, потребляемая реактивная мощность – 95–100 МВАр.

На рис. 5 приведены результаты измерений дозы фликера P_{st} при отключенном СТК. Максимальные значения дозы фликера P_{st} составляют около 3,5.

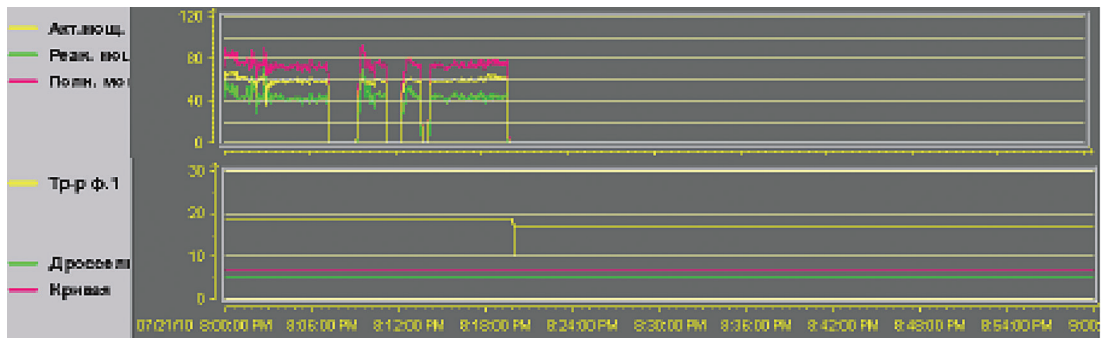
Далее были проведены исследования по оценке влияния работы ДСП и ПК на электрическую сеть с включенной и выключенной СТК. Результаты измерений электрических нагрузок ДСП № 1, ДСП № 2, АПК и показателей качества электроэнергии приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры электрической сети с работающим и отключенным СТК при различной нагрузке

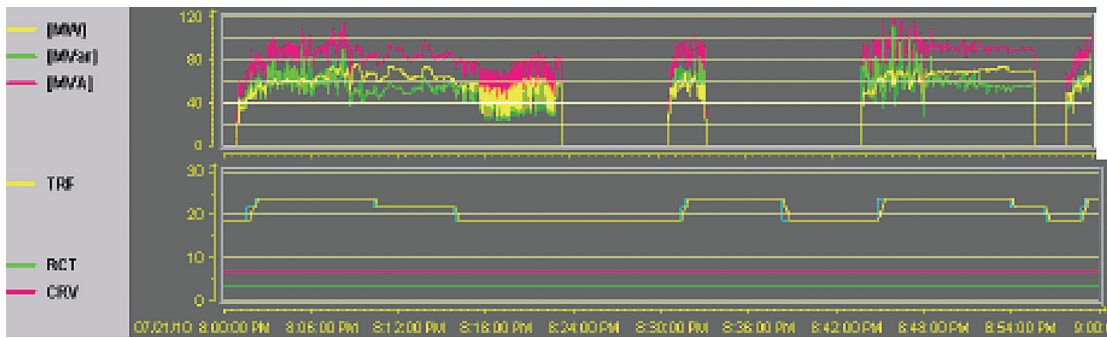
Нагрузка	P , МВт	Q , МВАр	U_{33} кВ, %	P_{st}	СТК
ДСП № 1	65–70	45–50	99,5	2,3–2,5	Работает
ДСП № 2	75–80	55–60	99,5	2,7–2,8	То же
ПК	11–12	7	–	–	»
ДСП № 1 + ДСП № 2 + ПК	140–150	100–112	94,5	3,5	»



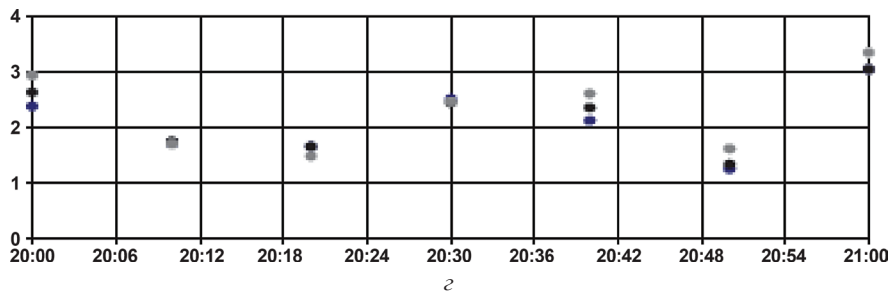
a



б



в



г

Рис. 4. Работа ДСП без СТК: а – напряжения на шинах 33 кВ; б, в – мощность активная, реактивная, полная ДСП № 1 и № 2 соответственно; г – доза фликера P_{st} на интервале измерения 10 мин

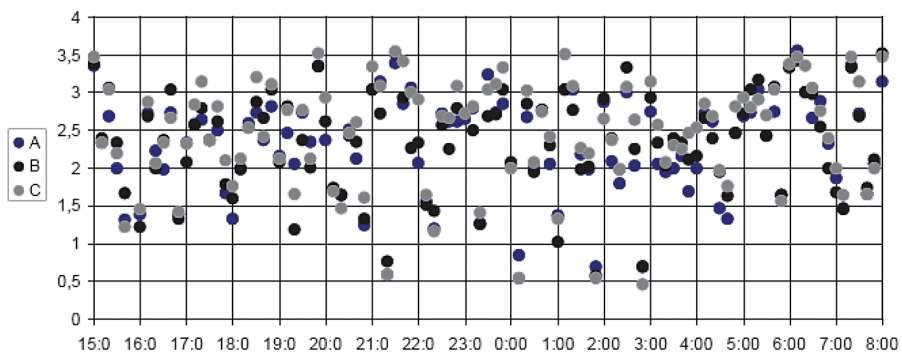
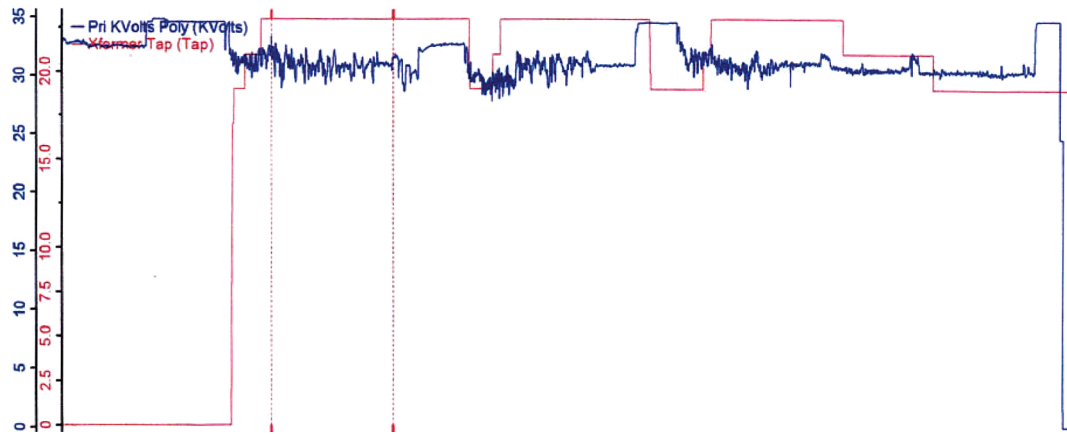
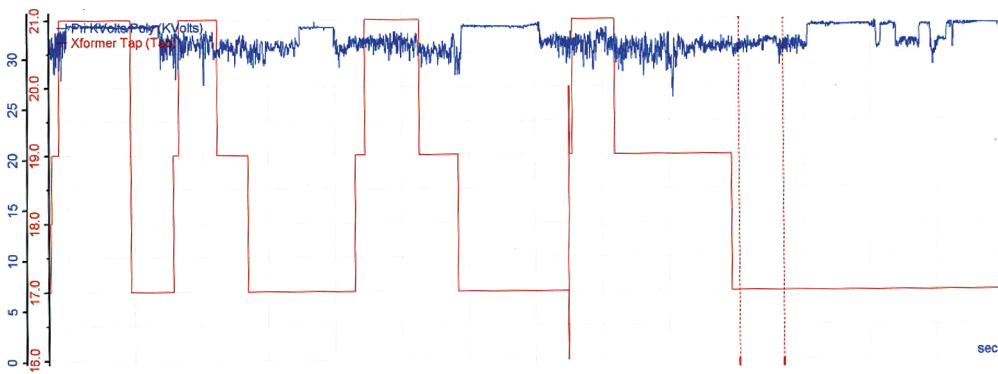


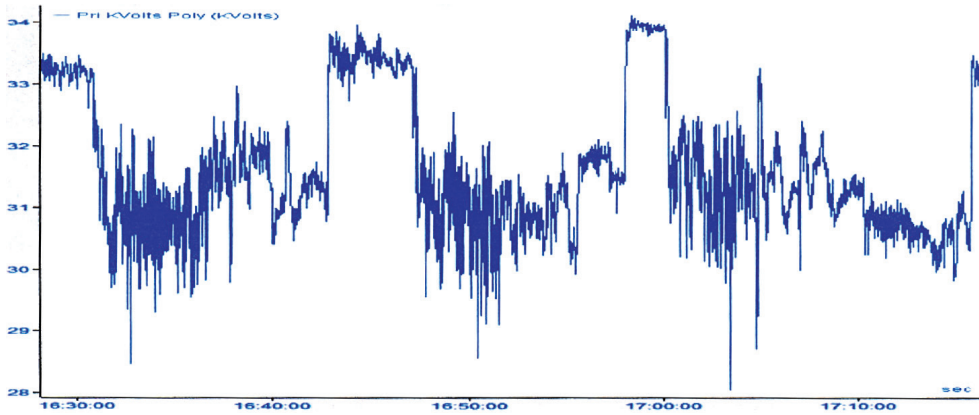
Рис. 5. Результаты измерений дозы фликера P_{st} на интервале измерения 10 мин



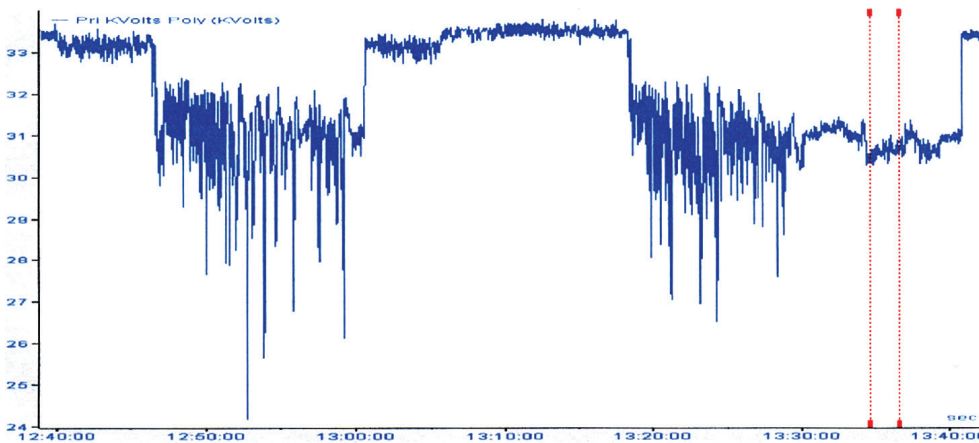
a



b



v



z

Рис. 6. Изменения напряжения питающей сети при включенном (a, б) и выключенном (в, з) СТК: в – напряжение холостого хода: 34 673 В; з – напряжение холостого хода: 33 240 В

Нагрузка	P , МВт	Q , МВАр	$U_{33 \text{ кВ}}$, %	P_{st}	СТК
ДСП № 1			91	3–3,2	Отключен
ДСП № 2			91	3–3,2	То же
ПК	12	7	99,7	–	»
ДСП № 1 + ДСП № 2 + ПК	127–130	95–100	86	3,5	»

На рис. 6 показаны изменения напряжений питающей сети при включенном (a, \bar{b}) и выключенном (b, \bar{c}) СТК. К сожалению, замеры проводили в различное время и на разных печах, поэтому полученные результаты не являются абсолютно достоверными. Вместе с тем, хорошо видно, настолько СТК сглаживает колебания и просадки напряжения.

С целью оценки экономической эффективности был проведен сравнительный анализ изменения технологических параметров одной и той же ДСП за один и тот же месяц 2013 и 2014 гг. при похожем сортаменте (13–15% – кордовые марки сталей, остальные – рядовые). Он показал, что применение СТК позволяет снизить расход электроэнергии на ДСП на 13,6%, время под током уменьшается на 1,73%, расход электродов марки УНР одного и того же производителя – на 5,64%. Расход электродов на ПК различных производителей уменьшается на 6,89%. Полученные данные несколько отличаются от опубликованных в открытых источниках. Согласно [1], время работы под током снижается на 11%. Количественные характеристики эффективности использования СТК по снижению удельных расходов электроэнергии и электродов приводятся компаниями АБВ, Nokian Capacitors и даны в [2, 3]. При установке компенсатора в схемах электроснабжения ДСП минимальный эффект по снижению удельных расходов электродов оценивается на уровне 6–8%, а удельных расходов электроэнергии – 10–12%. На наш взгляд, это объясняется различным сортаментом, марками электродов, различиями в системах электроснабжения.

Литература

1. **Влияние** дуговых электропечей на системы электроснабжения / Под ред. М. Я. Смелянского и Р. В. Минеева. М.: Энергия, 1975. 184 с.
2. **Чуприков В. С.** Расчет влияния тиристорного компенсатора реактивной мощности на длительность плавки в ДСП: Сб. науч. тр. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект «Новые разработки в области проектирования электроснабжения и электрооборудования электротермических установок». М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. **Повышение** мощности электропередачи при помощи статических систем компенсации реактивной мощности: Докл. на Шведском энергетическом симпозиуме. М., декабрь 1983 г.

References

1. **Vlijanie** dugovyh jelectropechej na sistemy jelectrosnabzhenija [Influence of electric arc furnaces in the power supply system]. Moscow, Energiya Publ., 1975.
2. **Chuprikov V. S.** Raschet vlijanija tiristorного kompensatora reaktivnoj moshhnosti na dlitel'nost' pлавki v DSP. Sbornik nauchnyh trudov VNIPI Tjazhpromjelectroprojekt «Novye razrabotki v oblasti proektirovanija jelectrosnabzhenija i jelectrooborudovanija jelectrotermicheskikh ustanovok [The calculation of the impact of the thyristor VAR compensator on the duration of melting in the EAF. Collection of scientific works VNIPI Tyazhpromelectroprojekt «New developments in the design of power supply and electrical equipment electrothermal installations]. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 1992.
3. **Povyshenie** moshhnosti jelectroperedachi pri pomoshhi staticheskikh system kompensacii reaktivnoj moshhnosti. Doklad na Shvedskom jenergeticheskom simpoziume [Increased power transmission systems using static Reactive power compensation. Report on the Swedish energy symposium]. Moscow, December, 1983.