

УДК 621.311

Маляренко В.А., Колотило И.Д., Щербак И.Е.

ПОТРЕБИТЕЛИ-РЕГУЛЯТОРЫ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Как известно, электроэнергия в силу целого ряда экономических и экологических факторов всё дороже обходится человечеству, что не позволяет иметь ее чрезмерные резервы как условия избыточного предложения. Поэтому задача оптимизации работы электросетей и энергосистемы становится все более актуальной.

Экономическая эффективность энергосистемы во многом определяется характером графика электрической нагрузки (ГЭН), выравнивание которого не может быть самопроизвольным случайным процессом. Оно требует проведения целенаправленных мероприятий с соответствующим материальным и финансовым обеспечением. Принимать участие в этом процессе должны все участники: государство, энергосистема, потребители [1].

Для выравнивания ГЭН энергосистемы весьма эффективно использование потребителей-регуляторов. Потребитель-регулятор (ПР) нагрузки – это потребитель электрической энергии, режим работы которого предусматривает возможность ограничения электропотребления в часы максимума для выравнивания ГЭН энергетической системы или электростанции и увеличения нагрузки в часы минимума.

Потребители-регуляторы условно можно разделить на две основные группы: ПР, которые являются частью энергосистемы и реализуют совмещенную функцию производства – потребления электроэнергии, это различные аккумулирующие электростанции (ГАЭС, парогазовые (ПГУ) и газотурбинные (ГТУ) установки, воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ)) и массовая группа ПР, которые используют электроэнергию в собственных целях (технологии кабельного электротеплоаккумуляционного обогрева, автоматизированные системы нагрева воды электроэнергией).

Главное достоинство аккумулирующих электростанций состоит в потреблении электроэнергии в часы минимальной нагрузки и обеспечение энергией в часы максимальной нагрузки энергосистемы. За счёт этого достигается уменьшение ночного провала, снижается неравномерность ГЭН, отпадает необходимость разгрузки или остановки крупных энергоблоков электростанций. Наиболее широкое применение получили ГАЭС, КПД которых составляет 75–80 %.

Электрические станции расположены около больших городов – крупных потребителей электрической энергии. ПР, расположенные в этих городах, позволят не останавливать блоки этих электростанций в период провала графика нагрузки, что существенно скажется на эффективности энергосистемы.

Способ выравнивания графика нагрузки энергосистемы с помощью ПР является одним из наиболее распространённых способов в разных энергосистемах [4].

К ПР могут относиться установки нагрева воды на горячее водоснабжение электроэнергией с накопительными емкостями и возможностью использования электроэнергии в период провала нагрузки энергосистемы. При переходе от централизованного горячего водоснабжения на установки нагрева воды электроэнергией и на квартирные электробойлера, таких установок может быть великое множество, а их суммарная мощность может достигать большой величины. Только для

г. Харькова суммарная максимальная мощность нагрева в ночной период составит 600–700 МВт. Это мощный потребитель – регулятор энергосистемы. Для сравнения, мощность ГАЭС Украины при закачке колеблется от 500 до 1000 МВт.

Объединив ПР в единую систему управления, можно применять их в схемах регулирования частоты и межрегиональных перетоков мощности в энергосистеме. Изменение их нагрузки с применением тиристорных регуляторов мощности происходит за доли секунды. Управлять ПР можно в ручном режиме с диспетчерского пункта энергосистемы и в автоматическом режиме на местном уровне.

Экономическая эффективность электрических сетей определяется не только потерями электрической энергии в сетях и затратами на их обслуживание, но и эффективностью использования установленных электрических мощностей, т.е. от уровня загрузки силовых трансформаторов (Т).

Исходя из требований надежности электроснабжения, начиная от городских электрических сетей и заканчивая районными и магистральными сетями, электрические системы имеют как минимум двойное резервирование. На трансформаторных подстанциях (ТП) и подстанциях системы (ПС) устанавливаются по два трансформатора, две системы сборных шин, не менее двух питающих электрических линий. Делается это для того, чтобы после аварии всю нагрузку можно было перевести на один трансформатор или на одну линию электропитания. На большинстве подстанций нагрузка трансформатора изменяется и в течение продолжительного времени остается ниже номинальной. Значительная часть трансформаторов выбирается с учетом послеаварийного режима, и поэтому нормально они остаются недогруженными.

Выборочный анализ загрузки трансформаторов ТП в городских распределительных сетях г. Харькова показал, что коэффициент использования мощностей $K_{исп}$ ТП не превышает 0,4 в среднем 0,2–0,3, т.е. резерв неиспользуемой мощности с учетом технически допустимой загрузки трансформатора $S_{доп}$ превышает 50–60 %.

Аналогичный анализ загрузки трансформаторов ТП (6–10 кВ) и ПС (220–110–35 кВ) проведенный компанией ЗАО ПФК «СКАФ» в г. Москва показал – в максимуме загрузка трансформаторов ТП 33–38 %, загрузка трансформаторов ПС 39–44 % [5]. С учетом неравномерности суточного ГЭН, результаты анализа загрузки городских сетей в двух случаях совпадают. В летний период коэффициент использования мощности снижается порядка на 20–30 %.

В результате анализа ЗАО ПФК «СКАФ», принято считать, что в нормальных условиях эксплуатации допустимую нагрузку силовых трансформаторов в действующей электрической сети 220–110–35–10(6) кВ в максимуме можно принять на уровне 50 % от номинальной мощности и считать её обобщённым нормативным показателем нормальной загрузки электрической сети. Этот показатель необходимо вводить для учёта степени использования мощности сети при установлении тарифов на передачу электроэнергии. С учетом этого показателя предлагается вводить повышающий (понижающий) коэффициент $K_{тар.}$ к тарифам на передачу электроэнергии. При загрузке сети $K_{исп}=0,5$ принять $K_{тар.}=1$ и изменять в сторону увеличения до $K_{тар.}=1,03$ при $K_{исп}=0,61–0,65$, в сторону уменьшения до $K_{тар.}=0,97$ при $K_{исп}=0,34$ и меньше. Введение к тарифам повышающих (понижающих) коэффициентов будет стимулировать предприятия электросетей к более эффективному и экономичному использованию основных фондов.

Настоящая статья посвящена способу загрузки электрических мощностей городской электросети, которая состоит из множества понижающих трансформаторов,

до максимально допустимой величины. При этом допустимая нагрузка определяется номинальной мощностью трансформаторов $S_{т.ном}$, условиями их эксплуатации, техническим состоянием трансформаторов и электрических сетей.

На рис. 1 представлен график нагрузки трансформатора в течение суток и резерв неиспользованной мощности при $K_3=0,8$, когда $S_{доп}= 320$ кВА.

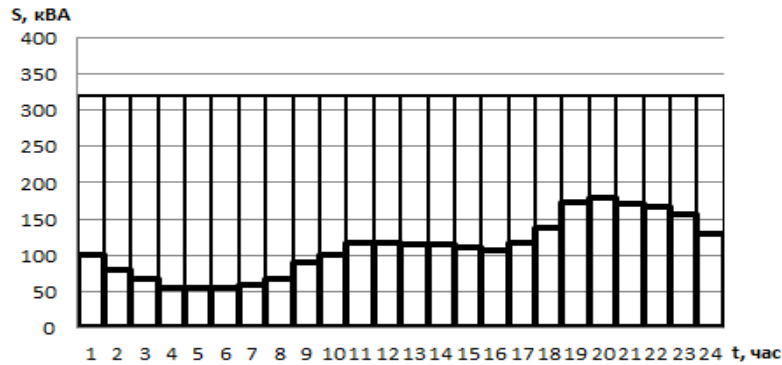


Рисунок 1 – График нагрузки трансформатора городской ТП и резерва его использования

Электрическая нагрузка трансформатора в течение времени меняется от минимальной до максимальной и характеризуется коэффициентом неравномерности. Коэффициент неравномерности графика нагрузки:

$$\alpha = P_{\min} / P_{\max}, \tag{1}$$

где P_{\min} – минимальное значение потребления за сутки; P_{\max} – максимальное значение потребления за сутки

В энергосистеме Украины за последние 3 года величина коэффициента неравномерности находилась в пределах 0,68–0,78. В городских электрических сетях величина коэффициента неравномерности колеблется в пределах $K_n= 0,3–0,5$.

Для использования резервной мощности трансформатора в соответствии с рис. 1, нагрузка должна быть управляемой, иметь возможность отключения, включения. Перечисленным требованиям может отвечать нагрузка, которая способна аккумулировать электроэнергию во время провала нагрузок, а затем в нужный момент раздавать ее потребителям. Это может быть нагрузка промышленных предприятий, где технологические особенности производства позволяют снижать или увеличивать нагрузку на некоторое время, переносить с одного времени на другое (печи сопротивления, электронагреватели, цементное производство и др.). К такой нагрузке можно отнести электроустановки для нагрева воды в системах горячего водоснабжения с баками – аккумуляторами, где вода в баках нагревается преимущественно в ночное время дешёвой электроэнергией, а затем раздаётся потребителям [2, 3]. Для этого на ТП управляемая нагрузка $I_{н1}, I_{н2} \dots I_{нN}$ выделяется в отдельную группу. Если это установки для нагрева воды на горячее водоснабжение жилых многоквартирных домов, где имеется резервный кабель, то они могут подключаться к ТП по резервному кабелю.

На рис. 2 представлена схема управления мощностью нагрева воды электроэнергией на горячее водоснабжение многоквартирного дома, состоящей из устройства управления нагрузкой по току трансформатора 1, которая защищена патентом Украины [7], позонного программируемого электросчетчика с управляемой

нагрузкой 2, тиристорного регулятора мощности ТРМ 3 и электроводонагревателя 4 установки.

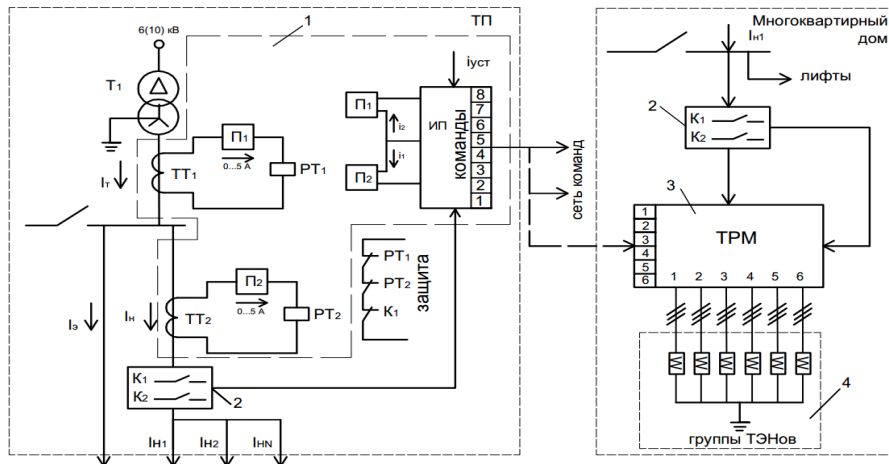


Рисунок 2 – Схема управления мощностью нагрева воды электроэнергией на горячее водоснабжение для многоквартирного дома

Устройство 1 состоит из измерительного преобразователя Π_1 , включённого в цепь измерения нагрузки трансформатора, измерительного преобразователя Π_2 , включённого в цепь измерения управляемой нагрузки, и измерителя – преобразователя (ИП). Преобразователь Π_1 и Π_2 предназначены для преобразования переменного тока (0...1) А, (0...5) А в цепи измерительных трансформаторов тока ТТ₁ и ТТ₂ без постоянной составляющей в универсальный стандартный сигнал постоянного тока 0(4)–20 мА, 0–10 мА, 2–10 мА, 0–10 В, 0–5 В или 1–5 В.

Сигналы преобразователя Π_1 , пропорционального току нагрузки трансформатора

$$I_T = I_3 + I_H = I_3 + I_{H1} + I_{H2} + I_{HN}; \quad (2)$$

$$i_1 = k_{\Pi 1} k_{T1} I_T = k_{\Pi 1} k_{T1} (I_3 + I_H) \quad (3)$$

и преобразователя Π_2 , пропорционального току управляемой нагрузки I_H ,

$$i_2 = k_{\Pi 2} k_{T2} I_H \quad (4)$$

вычитаются

$$\Delta I = i_1 - i_2 = k_{\Pi 1} k_{T1} (I_3 + I_H) - k_{\Pi 2} k_{T2} I_H, \quad (5)$$

где $k_{\Pi 1}$, $k_{\Pi 2}$ – коэффициенты преобразования измеряемого тока в выходной сигнал преобразователя Π_1 , Π_2 ; k_{T1} , k_{T2} – коэффициенты трансформации измерительного трансформаторов тока ТТ₁, ТТ₂.

При равных коэффициентах $k_{\Pi 1} = k_{\Pi 2} = k_{\Pi}$, $k_{T1} = k_{T2} = k_T$ и $k = k_{\Pi} k_T$ на вход многоканального измерителя-преобразователя ИП поступает сигнал пропорциональный току электрической нагрузки I_3 трансформатора ТТ₁.

$$i_{вх} = \Delta i = K_{п} K_{т} I_{з} = k I_{з}. \quad (6)$$

В измерителе – преобразователе ИП разность уставки $i_{уст}$, соответствующей допустимой нагрузке трансформатора $I_{доп}$, и входного сигнала $i_{вх} = k I_{з}$ преобразуется в дискретные команды управления нагрузкой.

На рис. 3а представлена характеристика 8-ми канального измерителя-преобразователя ИП. На рис. 3б приведен график изменения тока управляемой нагрузки $I_{н}$ в соответствии с командой измерителя-преобразователя ИП.

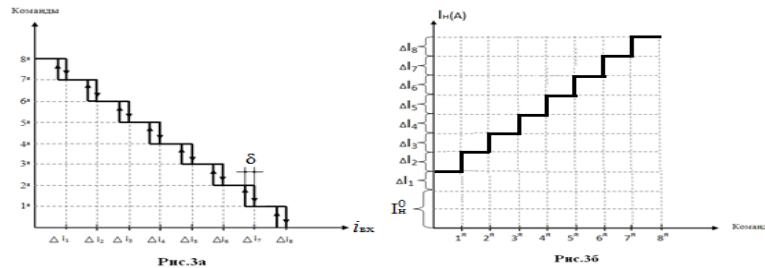


Рисунок 3

- а) характеристика 8-ми канального измерителя-преобразователя; б) зависимость изменения тока нагрузки по командам измерителя-преобразователя

Величина ступени Δi_n , изменения тока электрической нагрузки трансформатора $\Delta i_n = k (I_{з}^n - I_{з}^{n-1})$, величина ступени ΔI_n , изменения тока управляемой нагрузки

$$\Delta I_n = I_n^n - I_n^{n-1} \quad (7)$$

команды n , нерегулируемая величина I_n^0 управляемой нагрузки I_n , величина гистерезиса δ характеристики измерителя-преобразователя ИП рассчитываются и устанавливаются в процессе наладки системы.

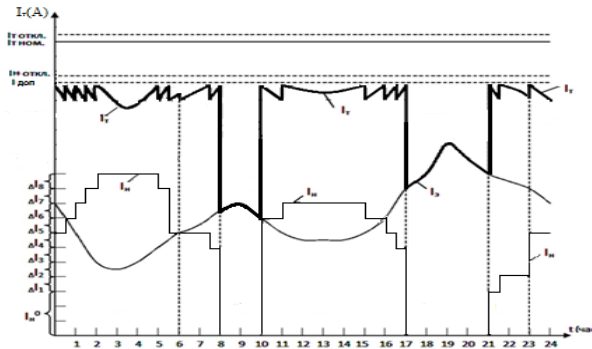


Рисунок 4 – Суммарный график нагрузки трансформатора

На рис. 4, в качестве примера, представлен график загрузки трансформатора $I_T = I_{з} + I_n$ до установленной допустимой нагрузки трансформатора $I_{доп}$, где в пиковый период с 8⁰⁰ до 10⁰⁰ и с 17⁰⁰ до 21⁰⁰ подача электрической мощности управляемой нагрузке системой запрещена. График изменения тока управляемой нагрузки I_n является зеркальным отображением графика нагрузки $I_n = I_{доп} - I_{з}$. Допустимый ток $I_{доп}$ трансформатора Т1 может устанавливаться по зонам: в пиковый период – $I_{доп}^п$, в дневное время – $I_{доп}^д$ и ночной период – $I_{доп}^н$.

Программируемый многотарифный электросчетчик 2, установленный на ТП и у потребителя считает потребление электроэнергии в течение суток, недель, года, выдает

команду на включение и отключение управляемой нагрузки, устанавливает значение по зонам выбранных установок измерителя-преобразователя ИП.

Схема управления мощностью регулируемой нагрузки предусматривает защиту трансформатора от перегрузок (реле РТ₁), защиту от превышения разрешённой мощности управляемой нагрузки (реле РТ₂). Токовое реле РТ₁ срабатывает при достижении тока нагрузки трансформатора до величины I_{Т.откл.}. В первую очередь по времени отключается управляемая нагрузка I_н. Если это не дало результата, трансформатор отключается от сети. Токовое реле РТ₂ отключает от сети управляемую нагрузку при достижении тока I_н до величины тока I_{н откл} (на рис.2 схема защиты не показана).

В зависимости от поступившей команды на вход тиристорного регулятора мощности ТРМ 3, последний управляет мощностью нагрева электронагревателя 4 установки.

Способ передачи команд от ТП до потребителей осуществляется: по проводной связи, по силовому кабелю, по телефонной, мобильной связи и радиосвязи. Количество выбранных команд из сети, зависит от количества входов и выходов ТРМ. В данной схеме рис. 2 использовано шесть команд.

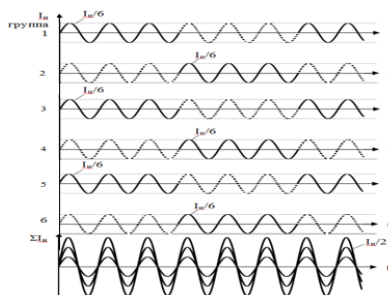
ТРМ 3 представляет многоканальный с синхронизацией регулятор мощности. Принцип работы регулятора мощности с управлением методом пропуска числа периодов синусоиды представлен в таблице 1 и таблице 2, круговой диаграммой рис. 5а, графиками рис. 5б и таблицей 3. Метод пропуска числа периодов синусоиды – тиристоры включены и выключены в течение некоторого целого числа периодов.

Трубчатые электронагреватели ТЭНы 4 собираются в группы с равной трехфазной нагрузкой. На схеме нагреватели установки общей мощностью P_у=120 кВт разбиты на 6 групп мощностью P_{гр}=20 кВт (см. табл. 1). Выше представлена работа ТРМ при поступлении команды 4, и команды 6, где единицам соответствует число открытых периодов, нулям закрытых. Переход от открытых периодов к закрытым периодам происходит в момент прохождения синусоиды через ноль.

Таблица 1

Команда	Мощность, кВт	Период	
		Откр.	Закр.
1	120	6	0
2	100	5	1
3	80	4	2
4	60	3	3
5	40	2	4
6	20	1	5

Группы	Команда 4	Команда 6
1	11↓000111000111000	100000100000100000
2	000111↓000111000111	0100000↓10000010000
3	111000111↓000111000	001000000↓000001000
4	000111000111↓000111	000100000↓100000100
5	111000111000111↓000	0000100000↓10000010
6	000111000111000111↓	00000100000↓1000001
Откр	33333333333333333333	11111111111111111111



а) б)

Рисунок 5 – Принцип работы регулятора мощности с управлением методом пропуска числа периодов синусоиды а) круговая диаграмма, б) график числа периодов в работе

Переход от одной группы нагрузки к следующей происходит по кругу как показано на диаграмме рис. 5а. На рис. 5б показан ток в каждой группе и суммарный ток нагрузки за один цикл круговой диаграммы при поступлении команды 4. Ток нагрузки равен суммарному току включённых тиристоров по группам

$$I_n = I_{гр1} + I_{гр3} + I_{гр5} = I_{max}/6 + I_{max}/6 + I_{max}/6 = I_{max}/2. \tag{8}$$

Для второй половины графика

$$I_n = I_{гр2} + I_{гр4} + I_{гр6} = I_{max}/6 + I_{max}/6 + I_{max}/6 = I_{max}/2. \tag{9}$$

В таблице 2 представлена работа ТРМ при команде на включение и отключении при 100 % мощности нагрузки раной $P_n = 120$ кВт.

Таблица 2

Группа	Команда «Включить»	Команда «Отключить»
1	11111111111111111111111111111111	11111000000000000000000000000000
2	00000011111111111111111111111111	11111111111000000000000000000000
3	00000000000011111111111111111111	11111111111111100000000000000000
4	0000000000000000000011111111111111	1111111111111111111000000000000000
5	0000000000000000000000000000111111111111	11111111111111111111111111100000000000
6	000000000000000000000000000000001111111	111111111111111111111111111111111000000
Откр.	111111222223333334444455555666666	6666655555444443333322222111111000000

Внизу таблицы 2 показано число одновременно открытых периодов синусоиды по всем группам.

Применение тиристорного многоканального регулятора мощности позволяет практически плавно управлять мощностью нагрева, плавно подключаться и отключаться от электрической сети. Предложенный способ управления мощностью потребителей не окажет отрицательного влияния на питающую электросеть.

Преимущества метода пропусками:

- не вносятся импульсные помехи в сеть. Поскольку включение тиристоров происходит в момент перехода сетевого напряжения через ноль, ток в нагрузке нарастает плавно, не вызывая электромагнитных помех;
- не вносятся в сеть нелинейные искажения, поскольку нагрузка питается синусоидальным напряжением;
- нет потребления реактивного тока при чисто активной нагрузке.

Перечисленные преимущества является одним из основных требований электросети к таким потребителям.

На рис. 6 а) представлена система управления мощностью нагрева установки воды на горячее водоснабжения по току потребления электроэнергии на электробытовые нужды многоквартирного дома запитанного по двум кабельным линиям. Установка электрического нагрева воды подключается к резервному кабелю. На вход измерителя – преобразователя ИП поступает сигнал пропорциональный току электрической нагрузки дома $i_{вх} = k I_3$.

На рис. 6б представлена система управления мощностью нагрева установки воды на горячее водоснабжение многоквартирного дома, запитанного одной кабельной линией. На вход измерителя – преобразователя ИП поступает разность токов $i_{вх} = \Delta i = k(I_{д} - I_{н}) = kI_{э}$.

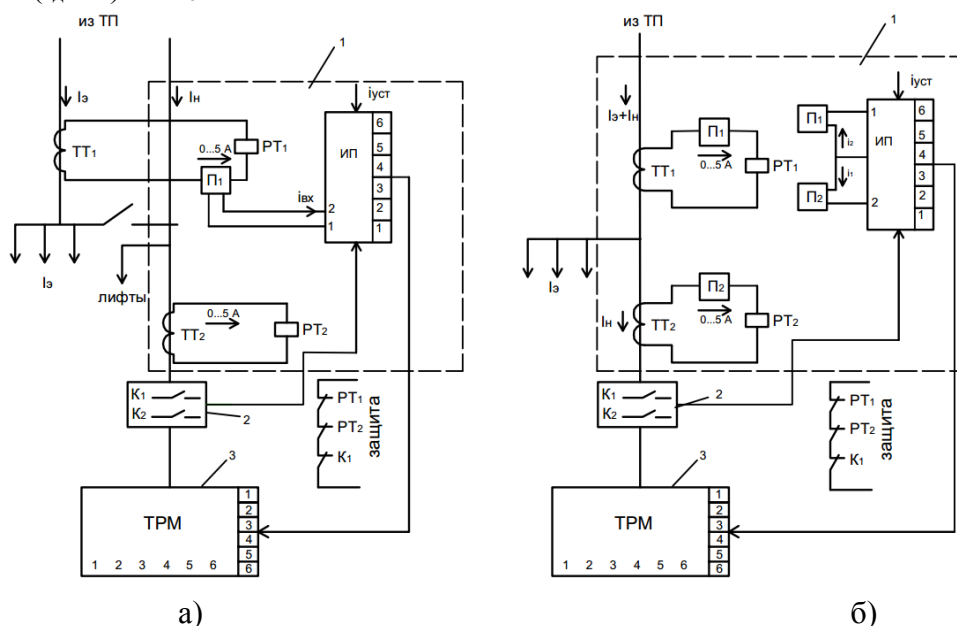


Рисунок 6 – Система управления мощностью нагрева воды

Установка измерителя-преобразователя ИП в схемах соответствует разрешённой нагрузке дома $i_{уст} = k I_{д,раз}$. Системы управления мощностью регулируемой нагрузки, представленные на рис.6, работают аналогично системе, представленной на рис. 2.

На рис. 7 показана упрощённая схема регулирования температуры воды на выходе электробойлера. Сигнал с датчика температуры ТС, установленного на трубопроводе горячей воды (ТГВ) на выходе электробойлера, поступает на вход регулятора температуры РТ, который управляет исполнительным механизмом ИМ регулирующего клапана РК. При изменении температуры воды на выходе электробойлера, регулятор РТ изменяет расход холодной воды поступающей в электробойлер из трубопровода холодной воды (ТХВ). При изменении мощности ТЭНов тиристорным регулятором мощности ТРМ, исполнительный механизм переводит регулирующий клапан в другую точку рабочей характеристики.

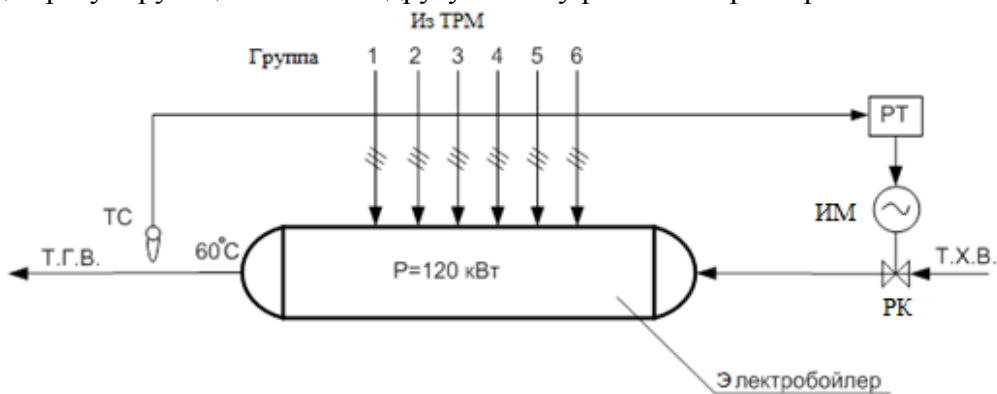


Рисунок 7 – Схема регулирования температуры воды на выходе электробойлера

В настоящее время многие города и посёлки отключили систему централизованного горячего водоснабжения и перешли на нагрев воды в квартирных электробойлерах. Так как пиковое потребление воды горячего водоснабжения практически совпадает по времени с пиковой нагрузкой в электрических сетях, то это привело к перегрузке внутридомовой электрической сети, кабельных линий, трансформаторных подстанций.

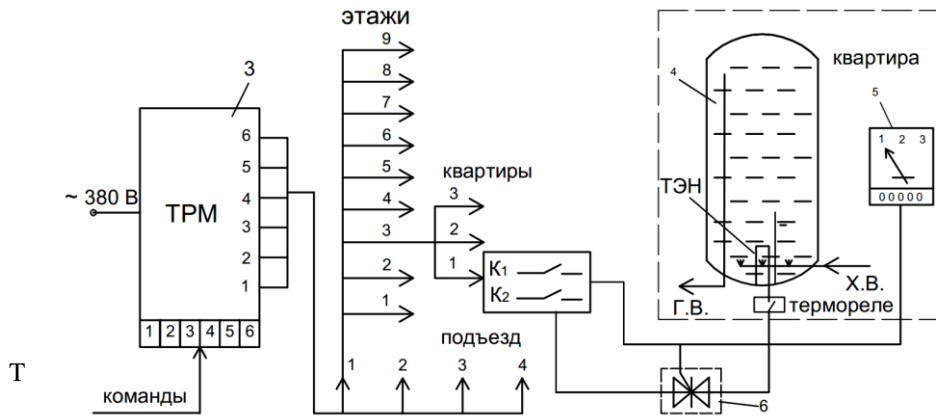


Рисунок 8 – Схема управления мощностью электронагревателей квартирных электробойлеров

Предложенная на рис. 8 схема управления мощностью квартирных электробойлеров позволит избежать перечисленных проблем, уменьшить потребление электроэнергии в пиковый период и перенести нагрев воды в ночное время дешёвой электроэнергией. Для этого квартирные электробойлера получают питание в доме от отдельной сети, формируются в группы равные по мощности и подключаются к тиристорному регулятору мощности ТРМ. Электробойлер 4 через коммутирующее устройство 6 подключаются к программному трёхзонному или двухзонному однофазному электросчетчику 2 с управляемой нагрузкой. Электросчетчики и коммутирующие устройства могут размещаться на лестничной площадке или на первом этаже подъезда. В квартиру, где установлен электробойлер, устанавливается выносной пульт 5 управления режимами нагрева электробойлера 4.

Мощностью нагрева электробойлеров управляют аналогично установке, представленной на рис. 2.

По решению потребителя с помощью пульта электробойлер может переключаться в один из трех или двух режимов, из которых один «Эконом». В этом режиме вода нагревается в ночной период дешевой электроэнергией. Второй режим допускает включение электробойлера в ночной и полупиковый период и запрещает включение в пиковый период. Третий режим – режим обычного квартирного электробойлера, только с той разницей, что мощность нагрева управляется, а стоимость электроэнергии зависит от времени включения электробойлера. Дешевая электроэнергия в ночной период будет стимулировать потребителя переключать электробойлер в «Эконом» режим.

При неравномерном распределении нагрузки по группам, связанным с включением или отключением регуляторами температуры электробойлера, возможно появление субгармонической составляющей тока, т.е. составляющие частот не кратных сетевой (50 Гц).

Влияние субгармонических составляющих на электрическую сеть исследовано недостаточно. Не существует также эффективных методов учета субгармонических

составляющих. Считается, что негативное влияние субгармонической составляющей в сравнении с высшими гармоническими составляющими выражено слабее, однако и в этом случае имеет место существенное ухудшение характеристик электропотребителя и его влияния на электрическую сеть. Наличие субгармонических составляющих, частот ниже сетевой частоты может привести к колебаниям напряжения. В большинстве случаев субгармонические колебания можно рассматривать как периодические изменения нагрузки. Эффективные средства фильтрации субгармонических составляющих низкой частоты до настоящего времени не разработаны [6].

В последнее время электроснабжающие организации всё чаще устанавливают у потребителя приборы ограничения мощности ПЗР. В том числе это относится и к многоквартирным домам, где ПЗР устанавливается как на вводе дома, так и по квартирам. Функции этих ограничителей могут быть самые разнообразные. Основная функция, которая присуща всем ПЗР – ограничить потребление мощности свыше расчётной. С технической стороны ограничение мощности не позволяет выйти за пределы допустимой нагрузки трансформатора или кабельной линии, от которой они запитаны. Однако отключение потребителей превысивших расчётную величину тогда, когда в этом нет необходимости, снижает экономическую эффективность электросети, создаёт не оправданные неудобства для потребителя. Для того чтобы избежать подобных ситуаций, необходимо управлять ПЗР. Когда нагрузка трансформатора или кабельной линии, от которого они запитаны, не превышает допустимой нагрузки, ПЗР не должен отключать потребителя от сети.

На рис. 9 представлена схема управления ПЗР по допустимой нагрузке трансформатора ТП и кабельной линии питания многоквартирного дома.

Квартирные ПЗР подключены к управляющему устройству УУ₂ дома, а по линии связи к управляющему устройству УУ₁ трансформатора ТП. При превышении потребителем расчётной нагрузки, ПЗР отключит его от сети только в том случае, если поступит команда с управляющего устройства УУ₁ или УУ₂, т.е. тогда когда будет превышена допустимая нагрузка трансформатора и сработает реле РТ₁ или реле РТ₂, настроенного на максимальную допустимую пропускную способность кабельной линии питания дома.

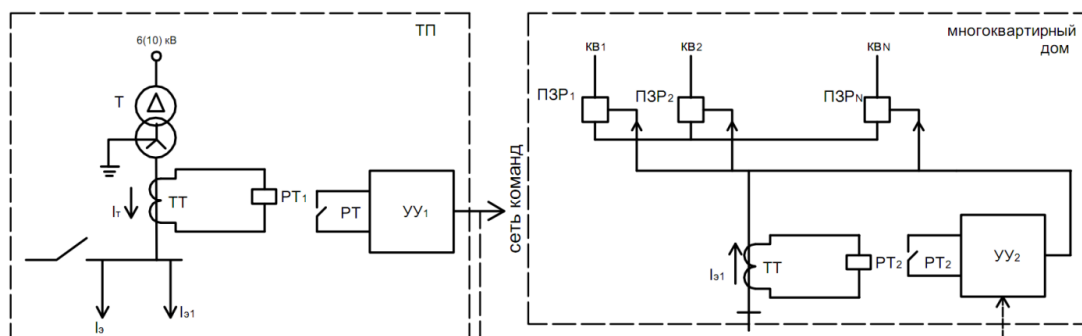


Рисунок 9 – Схема управления ПЗР многоквартирного дома по допустимой нагрузке трансформатора на ТП

Устройство управления УУ₂ определяет очередность срабатывания ограничителей мощности ПЗР потребителей, превысивших разрешённую мощность, и хранит их в памяти. При поступлении команды на отключение со стороны управляющего устройства УУ₂ или УУ₁, ПЗР начнёт отключать потребителей первыми

по очереди до того момента, пока не уменьшится нагрузка ниже установленных допустимых величин.

Приведенные примеры управления мощностью нагрузки потребителей в электрических сетях, показывают возможность активного влияния потребителей на работу электрической сети. По сути, выше изложенное относится к интеллектуальным сетям (Smart grid), за которыми будущее развития электроэнергетики.

Выводы. Привлечение потребителей – регуляторов, выполненных в виде преобразователей электрической энергии в тепловую энергию, обеспечит работу энергоблоков электростанций в условиях равномерной наиболее эффективной мощности.

Способ управления процессами отпуска электрической энергии с возможностью регулирования мощности потребления, позволит повысить экономичность передачи и распределения электроэнергии, отказаться от избыточных инвестиционных проектов, обеспечить экономию инвестиционных ресурсов.

Литература

1. Гуртовцев А., Забелло Е. Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы [Электронный ресурс]: – Режим доступа: http://www.energetika.by/arch/~page_m21=10~news_m21=169.
2. Колотило И.Д. От газа к электроэнергии [Текст] / И.Д. Колотило // Житлово-комунальне господарство України. – 2009. – №4. – С. 20–22.
3. Колотило И.Д. Электроэнергия – альтернатива газу [Текст] / И.Д. Колотило // Житлово-комунальне господарство України. – 2010. – №7. – С. 24–27.
4. Маляренко В.А., Щербак И.Е., Колотило И.Д. Электрическая энергия как источник диверсификации топлива в системах горячего водоснабжения ЖКХ [Текст] / В.А. Маляренко, И.Е. Щербак, И.Д. Колотило // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2013. – №5. – С. 19–23.
5. Овсейчук В. Тарифы на электроэнергию. Учет степени использования мощности электрической сети [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/58/04.php>.
6. Погребинский М.Я. Разработка способов и систем регулирования температуры электропечей сопротивления с улучшенными энергетическими показателями [Текст].
7. Спосіб регулювання навантаження трансформатора в мережевих трансформаторних підстанціях: пат. 75207 Україна: МПК51 Н 02 J 3/14, Н 02 J 3/28/ В.А. Маляренко, І.Д. Колотило, І.Є. Щербак; заявник і патентовласник Харківська національна академія міського господарства. – № у 2012 05527; заявка 07.05.2012; публікація 26.11.2012, Бюл. №22. – 4 с.

Bibliography (transliterated)

1. Gurtovtsev A., Zabello E. Vyiravnivanie grafika elektricheskoy nagruzki energosistemy [Elektronnyiy resurs]: – Rezhim dostupa: http://www.energetika.by/arch/~page_m21=10~news_m21=169.
2. Kolotilo I.D. Ot gaza k elektroenergii [Tekst] I.D. Kolotilo Zhitlovo-komunalne gospodarstvo Ukrayini. – 2009. – #4. – P. 20–22.

3. Kolotilo I.D. Elektroenergiya – alternativa gazu [Tekst] I.D. Kolotilo Zhitlovo-komunalne gospodarstvo Ukraini. – 2010. – #7. – P. 24–27.

4. Malyarenko V.A., Scherbak I.E., Kolotilo I.D. Elektricheskaya energiya kak istochnik diversifikatsii topliva v sistemah goryachego vodosnabzheniya ZhKH [Tekst] V.A. Malyarenko, I.E. Scherbak, I.D. Kolotilo Energoberezhenie. Energetika. Ener-goaudit. 2013. – #5. – P. 19–23.

5. Ovseychuk V. Tarifyy na elektroenergiyu. Uchet stepeni ispolzovaniya moschnosti elektricheskoy seti [Elektronnyiy resurs]: – Rezhim dostupa: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/58/04.php>.

6. Pogrebinskiy M.Ya. Razrabotka sposobov i sistem regulirovaniya temperaturyi elektropetchey soprotivleniya s uluchshennyimi energeticheskimi pokazatelyami [Tekst].

7. Sposib reguluyvannya navantazhennya transformatora v merezhevih transformatornih pidstantsiyah: pat. 75207 UkraYina: MPK51 H 02 J 3/14, H 02 J 3/28/ V.A. Malyarenko, I.D. Kolotilo, I.E. Scherbak; zayavnik i patentovlasnik Harkivska natsionalna akademiya miskogo gospodarstva. – # u 2012 05527; zayavka 07.05.2012; publikatsiya 26.11.2012, Byul. #22. – 4 p.

УДК 621.311

Маляренко В.А., Колотило І.Д., Щербак І.Є.

СПОЖИВАЧІ-РЕГУЛЯТОРИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК РЕГУЛЮВАННЯ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

У статті розглянуто вирівнювання графіку електричного навантаження за допомогою споживачів-регуляторів. Запропоновано потужністю споживачів-регуляторів керувати тиристорним регулятором потужності з урахуванням завантаження трансформаторної підстанції. В якості споживачів-регуляторів використовуються установки нагріву води на гаряче водопостачання.

Malyarenko V.A., Kolotilo I.D., Shcherbak I.E.

CONSUMERS REGULATOR AS EFFECTIVE DIRECTION OF REGULATION OF LOAD CURVE OF ELECTRICAL NETWORKS

The article deals with the smoothing of curve of electric load by using consumer-regulators. It was suggested to control a power consumer regulators by thyristor power controller with due regard for loading transformer substation. The installations of heating water for hot water-works are used as consumer-regulators.