



УКРАЇНА

(19) UA (11) 22096 (13) A
(51)5 H 02 J 3/24ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті
на підставі Постанови Верховної Ради України
№ 3769 XII від 23 XII 1993 рПублікується
в редакції заявника

(54) СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ЗАТРАТ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

1

(21) 95041861

(22) 21 04 95

(24) 30 04 98

(46) 30 04 98 Бюл. № 2

(56) Wolf R F Voltage reduction really does
save energy – Elektrial world, 1979, 192,
№ 11, p 46-47(72) Назаренко Володимир Михайлович,
Удовенко Валерій Олександрович

(73) Криворізький гірничорудний інститут

(57) Способ снижения затрат на электро-
энергию, включающий изменение уровня
питающего напряжения, о т л и ч а ю щ и й-
с я тем, что в часы максимального потреб-
ления электроэнергии осуществляют сни-
жение частоты питающей сети и
уменьшение уровня питающего напряже-
ния и последовательное отключения потре-
бителей, при этом определяют ущерб как от
отключений потребителей, так и от отклоне-
ний напряжения и частоты от номинальных
значений и потери активной мощности, при
этом сравнивают потребляемую мощность с
максимальной заданной при потребляемой
мощности большей заданной электропотре-
бители разделяют на категории по требуе-
мой степени надежности питания и

2

выбирают потребители с самой низкой кате-
горией внутри выбранной низкой катего-
рии определяют регулирующие эффекты по
частоте и напряжению для каждого потре-
бителя, при этом определяют суммарный
регулирующий эффект по частоте и напря-
жению каждого потребителя низкой катего-
рии и выключают потребитель с
наименьшим суммарным регулирующим эф-
фектом если потребляемая мощность пре-
вышает максимальную заданную мощность,
последовательно выключают потребители с
наименьшим суммарным регулирующим эф-
фектом а в часы минимального потребле-
ния электроэнергии потребителей
включают в порядке, обратном выключе-
нию, при этом определяют потребляемую
мощность и ущерб от отключения потреби-
телей и отклонения напряжения и частоты
от номинальных значений, и потерь актив-
ной мощности, при этом сравнивают по-
требляемую мощность с минимальной
заданной, и в случае, когда потребляемая
мощность меньше минимальной заданной,
осуществляют включение очередного по-
требителя и повышение напряжения и час-
тоты до максимальных заданных значений.

Изобретение относится к электротехни-
ке, в частности к стабилизации нагрузки в
распределительных электрических сетях и
может найти применение на потребитель-
ских подстанциях промышленных и горных

предприятиях с целью снижения затрат на
оплату электроэнергии

Наиболее близким по технической сущ-
ности является способ использования взаи-
мосвязи режима напряжения и мощности в

(19) UA (11) 22096 (13) A

узле нагрузки для управления электропотреблением промышленных предприятий [1].

В известном способе во время максимума нагрузки питание осуществляется пониженным напряжением, что позволяет уменьшать потребление электроэнергии в эти часы в ограниченном количестве из-за невозможности снижения напряжения ниже чем это допускается по ГОСТу, т.е. до 0,9 от номинального значения ($U_{\min} = 0,9 U_n$).

Из основе изобретения поставлена задача усовершенствования способа снижения затрат на электроэнергию, в котором при снижении напряжения осуществляется отключение оборудования в часы максимума и изменение частоты в сети, что обеспечивает более глубокое снижение потребляемой мощности и за счет этого возможно больше уменьшить потребление электроэнергии, что позволит снизить затраты на потребление электроэнергии. При этом отключение электроприемников одной категории происходит в порядке увеличения коэффициента регулирования по частоте.

Поставленная задача решается тем, что в способе снижения затрат на электроэнергию, содержащем снижение напряжения во время максимума нагрузки, согласно изобретению в часы максимального потребления электроэнергии осуществляют снижение частоты питающей сети, уменьшение уровня питающего напряжения и последовательное отключение потребителей, при этом определяют ущерб как от отключений потребителей, так и от отклонений напряжения и частоты от номинальных значений и потери активной мощности, при этом сравнивают потребляемую мощность с максимальной заданной, при потребляемой мощности большей заданной потребители разделяют на категории по требуемой степени надежности питания и выбирают потребители с самой низкой категорией, внутри выбранной низкой категории определяют регулирующие эффекты по частоте и напряжению для каждого потребителя, при этом определяют суммарный регулирующий эффект по частоте и напряжению каждого потребителя низкой категории и выключают потребитель с наименьшим суммарным регулирующим эффектом, если потребляемая мощность превышает максимальную заданную мощность последовательно выключают потребители с наименьшим суммарным регулирующим эффектом, а при минимальном потреблении электроэнергии потребители включают в порядке, обратном выключению, при этом определяют потребляемую мощность и ущерб от отключения потребителей и отклонения напряжения и частоты

от номинальных значений, и потерь активной мощности, при этом сравнивают потребляемую мощность с минимальной заданной и в случае, когда потребляемая мощность меньше минимальной заданной осуществляют включение очередного потребителя и повышение напряжения и частоты до максимальных заданных значений, при этом устанавливают указанный режим энергопотребления путем оптимальной загрузки, уровня напряжения и уровня частоты.

Способ иллюстрируется чертежами, где на фиг. 1 представлена функциональная зависимость потребляемой мощности от напряжения сети при номинальном значении частоты в сети и: 1) обычной работе объекта; 2) отключения одного потребителя-регулятора; 3) отключении двух потребителей-регуляторов; на фиг. 2 – примерные статические характеристики нагрузки по напряжению в промышленных СЭС для: 4) асинхронных двигателей, 5) синхронных двигателей, 6) статической нагрузки; на фиг. 3 – графики изменения потерь активной мощности в асинхронных двигателях серии А и АО при: 1) $K_2 = 1$ (7), 8) $K_2 = 0,75$, 9) $K_2 = 0,5$; на фиг. 4 – зависимость номинального КПД от номинальной мощности на валу асинхронных двигателей серии А и АО (10); на фиг. 5 – примерные статические характеристики нагрузки по частоте в промышленных СЭС для: 11) статической нагрузки, 12) асинхронных двигателей, 13) синхронных двигателей.

Способ реализуется следующим образом. Задают ограничения, за которые не должен выходить режим в энергосистеме:

$$\begin{aligned} P_{\min} &< P_c < P_{\max} \\ U_{\min} &< U_c < U_{\max} \\ f_{\min} &< f_c < f_{\max} \\ dP_{\text{отк}} &\leq dP_{\text{по}} \end{aligned} \quad (1)$$

где P_{\min} и P_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения мощностей (определяется энергосистемой или самим предприятием); U_{\min} и U_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения напряжения, $U_{\min} = 0,9 * U_n = 1,1 * U_n$; f_{\min} и f_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значение частоты, $f_{\min} = 49,9$ Гц, $f_{\max} = 50,1$ Гц; U_n – номинальное значение напряжения; $dP_{\text{отк}}$ – мощность отключаемых потребителей; $dP_{\text{по}}$ – мощность предельно допустимого отключения; P_c , U_c , f_c – соответственно текущие значения активной мощности, напряжения и частоты, которые измеряются. Путем изменения питающего напряжения, изменения частоты сети и отключения потребителей более низкой категории (контрольные электро-

приемники) подбирается оптимальный режим энергопотребления. Кроме того контрольные электроприемники одной категории отключаются в следующем порядке: сначала отключается потребитель с самым маленьким коэффициентом регулирования по частоте, а дальше – в порядке возрастания этих коэффициентов.

Этот режим и устанавливается как рабочий режим при текущих данных.

Оптимальный выбор способа управления энергопотреблением позволяет при минимальном ущербе обеспечить в этих условиях нормальную работу энергосистемы.

Согласно постановлению Кабинета Министров № 733 от 21.10.94 г., введенного с 23.12.94 г., оплата за потребляемую электроэнергию осуществляется по двухставочному тарифу:

$$C = a \cdot P_m + b \cdot W, \quad (2)$$

где a – стоимость 1 кВт максимально заявленной мощности, P_m – максимально заявленная мощность, b – стоимость 1 кВт*ч потребляемой электроэнергии, для i группы потребителей кВт*ч, потребляемая мощность, которая превышает максимально заявленную оплачивается в десятикратном размере.

При разгрузке энергосистемы путем отключения электроустановок потребителей или ограничения отпуска им электроэнергии нарушается нормальный производственный процесс и наносится соответствующий материальный ущерб.

В соответствии с методикой определения ущерба от нарушения нормального режима энергоснабжения "общий ущерб предприятия Y равен разности между стоимостью единицы продукции при нарушении нормального режима Z_ϕ и плановой стоимостью Z , умноженной на фактический выпуск продукции P_ϕ : $Y = (Z_\phi - Z) \cdot P_\phi$ или $Y = \Phi + I1 \cdot ДП/P_n + ДИ$, (3)

где Φ – плата за фонды, $I1$ – постоянная часть годовых затрат, $ДИ$ – сокращение выпуска продукции из-за нарушения нормальной работы предприятия, P_n – плановый выпуск продукции, $ДИ$ – дополнительные затраты производства, вызванные нарушением нормального энергоснабжения.

При снижении частоты в энергосистеме уменьшается и мощность потребителей. При этом глубина снижения активной мощности для неидентичных потребителей различная. Величина, характеризующая изменение нагрузки при изменении частоты, называется регулирующим эффектом на-

грузки по частоте. Значения регулирующих эффектов нагрузки по частоте отдельных узлов энергосистемы значительно отличаются и находятся в диапазоне 0,5–4 [Описание изобретения к авторскому свидетельству SU 1095305]. Поэтому потребляемая мощность нагрузки при снижении частоты может существенно отличаться от мощности при номинальных значениях частоты. При отключении потребителей, начиная от узла с самым малым регулирующим эффектом активной мощности по частоте и дальше в порядке его возрастания необходимый объем отключаемой мощности нагрузки для снижения потребляемой мощности обеспечивается меньшим количеством отключаемых потребителей.

Критерий оптимальности при действии на отключение потребителей одной категории с равными удельными ущербами можно записать

$$F = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{ni} + \dots + P_{no} = \min \quad (4)$$

при выполнении ограничений

$$dP_1 + dP_2 + \dots + dP_i + \dots + dP_n \geq P_{no} \quad (5);$$

$$dP_{ni} \leq dP_{nid}, \quad (6)$$

где dP_{ni} – величина отключаемой активной мощности i -го потребителя, соответствующая номинальному уровню частоты в энергосистеме;

dP_i – величина отключаемой активной мощности i -го потребителя, соответствующая установившемуся послеаварийному уровню частоты в энергосистеме;

dP_{nid} – предельно допустимая величина отключаемой активной мощности в i -том узле нагрузки;

dP_{no} – необходимый объем отключаемой активности мощности.

Таким образом, задача обеспечения необходимого объема ограничений потребления активной мощности в энергосистеме в минимальном количестве отключаемых потребителей сводится к выработке оптимальной последовательности работы устройств разгрузочной автоматики.

В общем виде величина отключаемой активной мощности i -го потребителя при частоте f

$$dP_i = dP_{ni} \cdot (1 - K_{ni}) \cdot (f_n - f)/f_n \quad (7),$$

где K_{ni} – коэффициент, учитывающий регулирующий эффект активной мощности по частоте в i -том узле нагрузки.

Следовательно, чем меньше величина K_{ni} , тем меньше и снижение активной мощности потребителей в узле нагрузки. Поэтому минимум отключаемых потребителей при выполнении условий (5, 6) всегда в том случае, если нагрузка отключается последовательно от узла с самым малым регулирующим

щим эффектом активной мощности нагрузки по частоте.

Таким образом, предлагаемый способ, благодаря оптимальной последовательности отключения потребителей с учетом их частотных характеристик, обеспечивает минимум суммарного объема отключаемой нагрузки одной категории.

Мощность, потребляемая в узле нагрузки, в установившемся режиме зависит от напряжения узла U и частоты f в энергосистеме.

Характеристики $P(U)$ и $Q(U)$ при $f = \text{const}$ и $P(f)$ и $Q(f)$ при $U = \text{const}$ называются статическими характеристиками нагрузки по напряжению и частоте. Их вид зависит от состава нагрузки узла, а также от времени суток и времени года. Как правило статические характеристики выражаются в относительных единицах (т.е. в нормальном режиме $f = U = P = Q = 1$).

Так как для управления электропотреблением используются относительно небольшие изменения напряжения и частоты, статические характеристики, используемые для оценки реакции системы на уменьшение напряжения, можно аппроксимировать линейными зависимостями вида:

$$P = P_{0U} + p_U \cdot U$$

$$Q = Q_{0U} + q_U \cdot U$$

$$P = P_{0f} + p_f \cdot f$$

$$Q = Q_{0f} + q_f \cdot f$$

$$U \in (0,9; 1,1) \quad (8)$$

$$U \in (0,95; 1,05)$$

$$f \in (49,9; 50,1) \quad (9)$$

$$f \in (49,9; 50,1)$$

где P_{0U} , P_{0f} и Q_{0U} , Q_{0f} — некоторые константы; p_U и q_U — коэффициенты крутизны статических характеристик нагрузки по напряжению, называемые регулируемыми эффектами нагрузки по напряжению; p_f и q_f — коэффициенты крутизны статических характеристик нагрузки по частоте, называемые регулируемыми эффектами нагрузки по частоте.

Качественно показаны статические характеристики нагрузки по напряжению (в окрестностях точки, соответствующей номинальному режиму), для основных групп приемников в промышленных системах электроснабжения — синхронных (4), асинхронных двигателей (5) и статической нагрузки (6). Также качественно показаны статические характеристики нагрузки по частоте (в окрестностях точки, соответствующей номинальному режиму) для основных групп приемников в промышленных системах электроснабжения — синхронных (13), асинхронных двигателей (12) и статической

нагрузки (11). В понятие статической нагрузки включаются все потребители электроэнергии, кроме двигателей; электропередачи, освещения, значительная часть коммунально-бытовой нагрузки и т.п. — все эти потребители характеризуются значительной крутизной статической характеристик активной нагрузки по напряжению (величины p_U для ряда типичных статических приемников приведены в таблице:

Двигательная нагрузка, имеющаяся на промышленных предприятиях, включает в себя, в основном, синхронные двигатели ($p_U = 0$) и асинхронные двигатели.

Асинхронные двигатели являются наиболее распространенным типом приемников электрической энергии на промышленных предприятиях. При изменении напряжения в сети мощность на валу синхронных двигателей остается практически постоянной, изменяются лишь потери активной мощности в двигателе на величину ΔP , характер зависимости которой от напряжения определяется типом двигателя и коэффициентом его загрузки, при $K_z = 1$ (7), $K_z = 0,75$ (8), $K_z = 0,5$ (9). Как видно из приведенных кривых, абсолютная величина изменения потерь активной мощности относительно невелика. Однако, она соизмерима со значениями потерь в элементах сети, а в ряде случаев, особенно при наличии большого числа маломощных двигателей, характеризующихся значительными потерями активной мощности (10), значительно повышает их. Следует отметить также, что в некоторых случаях (если двигатель работает с насыщенной или близкой к насыщению магнитной цепью и относительно небольшим коэффициентом загрузки) изменение намагничивающего тока двигателя при небольших изменениях напряжения могут быть столь велики, что p_U двигателя оказывается сравним с регулируемыми эффектами статической нагрузки.

Регулирующий эффект может быть как положительным, так и отрицательным. Различие величин и знака регулирующих эффектов нагрузки говорит о необходимости обоснованного подхода к организации режима напряжения в часы максимума нагрузки энергосистемы: наиболее экономичный с точки зрения потребления активной мощности режим в различных СЭС может соответствовать как пониженному, так и повышенному или номинальному уровню напряжения.

В первом приближении, пренебрегая потерями в распределительной сети, оценку регулирующих эффектов активной на-

грузки узлов по напряжению можно получить по выражению:

$$P_u = (P_{ud} \cdot P_d + P_{см} \cdot P_{см}) / (P_d + P_{см}) \quad (10)$$

где $P_{ud} = 0$, $P_{см} = 1,8$, P_d , $P_{см}$ — соответственно регулирующие эффекты и мощности, потребляемые двигателем и статической нагрузкой.

В среднем для промышленных предприятий характерны значения P_u , расположенные в диапазоне $P_u = 0,6 + 0,3$, при

10% уровне понижения напряжения [Гуревич Ю. Е. и другие. Устойчивость нагрузки электрических систем. М., Энергоиздат, 1982].

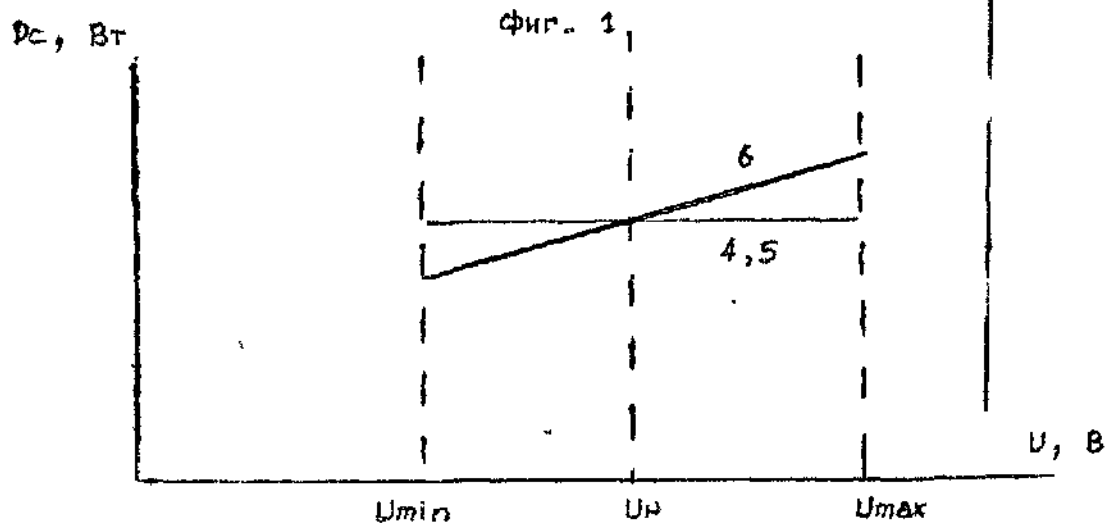
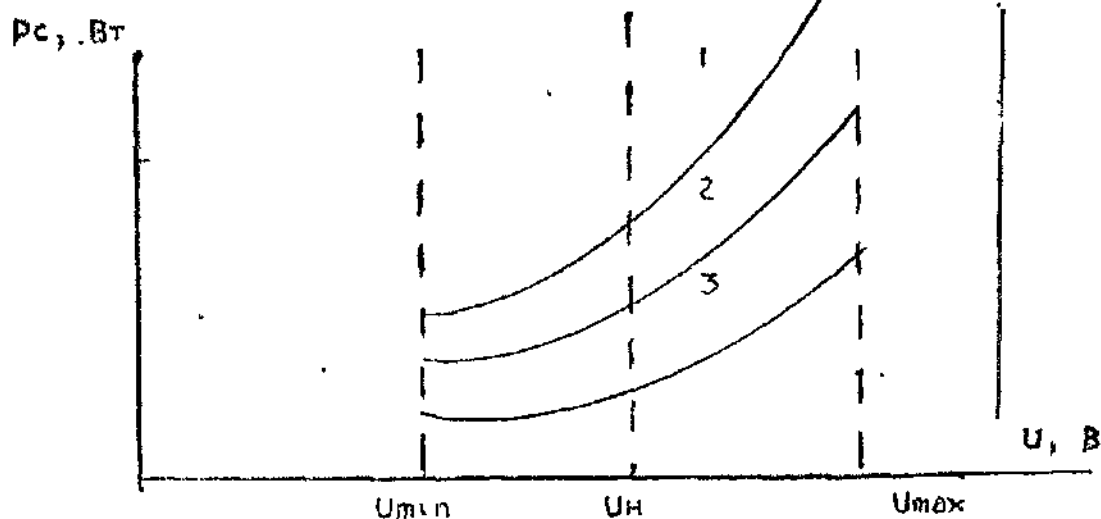
Суммарные регулирующие эффекты по напряжению и частоте определяют по формуле:

$$p^2 = p_u^2 + p_d^2 \quad (11)$$

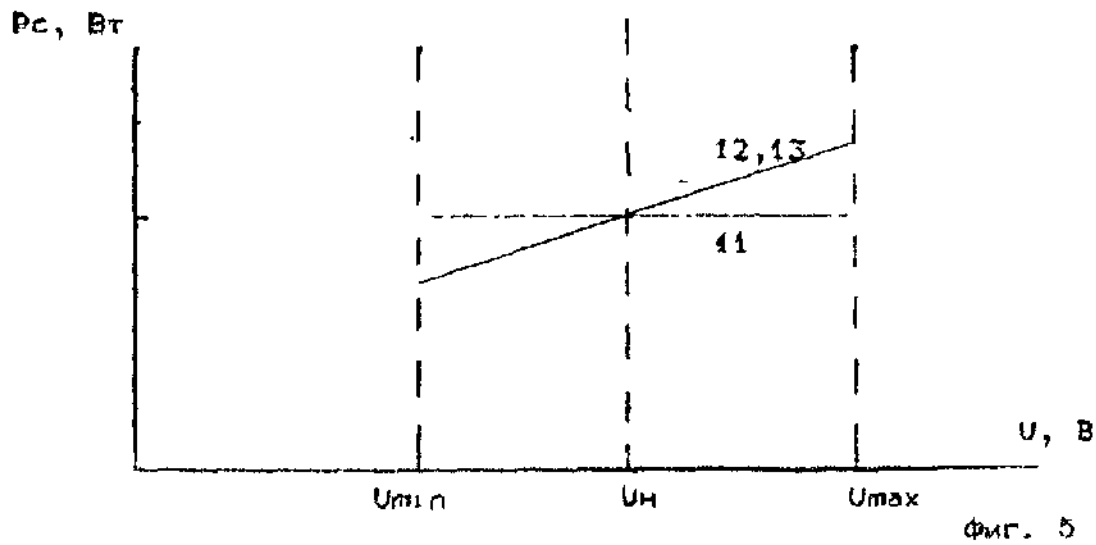
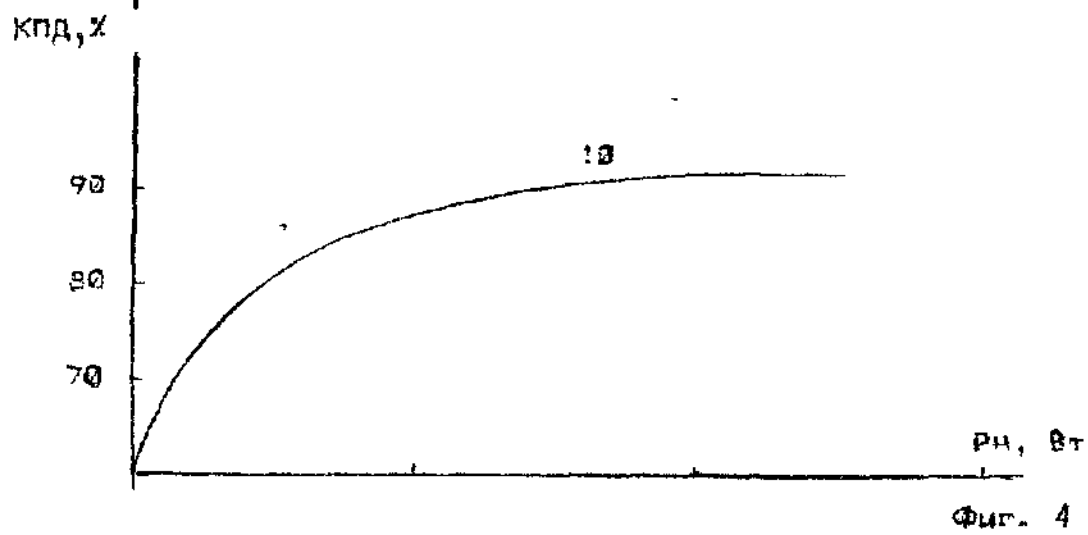
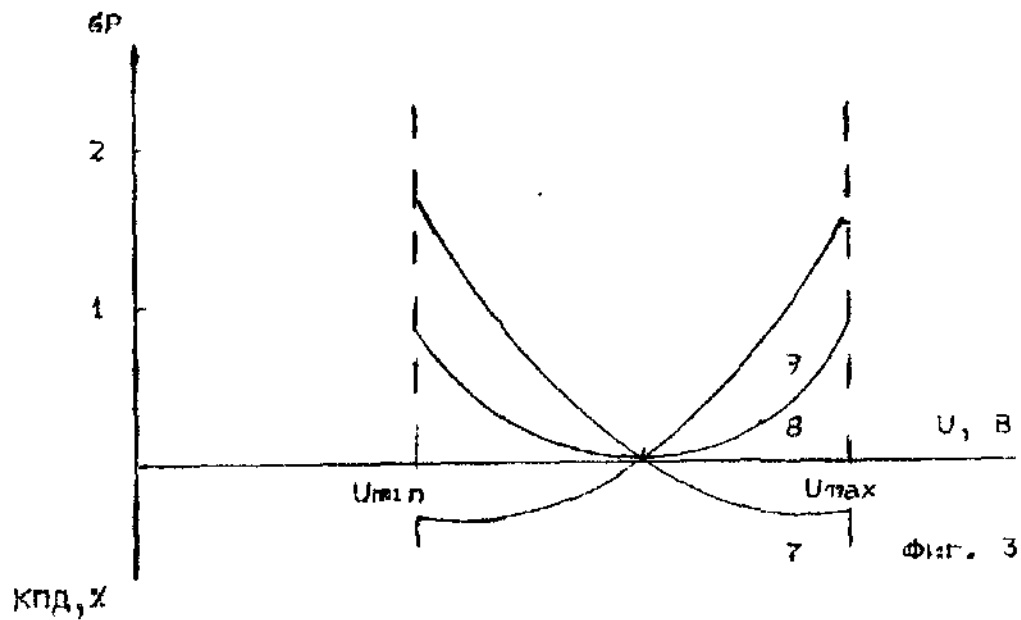
$$q^2 = q_u^2 + q_f^2 \quad (12)$$

В зависимости от предприятий количество контрольных электроприемников может меняться от 2-х до бесконечности.

Вид приемника	p_u
Осветительная нагрузка:	
лампы накаливания	1,6
люминесцентные лампы, включаемые по	
схеме с расщепленной фазой	3,75
лампы ДРЛ	1,6
электротермические установки	2(1)



Фиг. 2



Упорядник

Техред М Келемеш

Коректор М Керецман

Замовлення 4469

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл. 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101