

УДК 621.31:628.973.1

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Овчаров В. В., д.т.н.,

Овчаров С. В., к.т.н.

Стребков А. А., асп.*

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: (0619)42-32-63

Аннотация – исследованы возможные пути электроснабжения жилых домов, а также электромеханические переходные процессы в электродвигателях бытовой техники при пониженном уровне напряжения на зажимах потребителя.

Ключевые слова – преобразователи солнечной энергии, преобразователи ветровой энергии, уровень напряжения на зажимах потребителя, пусковой переходный процесс, момент инерции, время пуска.

Постановка проблемы. В наше время перед потребителями электрической энергии все чаще возникает проблема ее экономии. Для этого чаще всего применяются альтернативные источники энергии либо используются многоставочные тарифы на электроэнергию, потребляемую от существующих электрических сетей.

Сегодня также из-за большой протяженности электрических сетей напряжением 380/220В, роста нагрузок бытовых потребителей, отсутствия средств на реконструкцию линий электроснабжения возникает проблема улучшения уровня питающего напряжения потребителей.

Поэтому обеспечение электрической энергией жилых домов, а также её соответствующего качества является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений. Решению указанной проблемы посвящено ряд статей [1,2]. Однако проблема остается до конца не решенной.

Формулировка целей статьи. Поэтому целью статьи является исследование возможных путей обеспечения электрической энергией

© Овчаров В. В., Овчаров С. В., Стребков А. А.

* Научный руководитель – д.т.н., проф. Овчаров В. В.

сельских потребителей, как в количественном, так и в качественном отношениях.

Основная часть. Основными источниками комбинированной электротехнической системы электроснабжения жилого дома могут быть: существующие электрические сети, преобразователи солнечной энергии в электрическую, преобразователи ветровой энергии в электрическую.

Предполагается при использовании солнечной энергии преобразовывать ее в энергию переменного синусоидального тока существующей частоты.

В течение календарного года количество часов с высокой интенсивностью солнечной энергии приходится в основном на период с апреля по октябрь месяцы и составляет примерно от 2500 до 3500 часов.

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, может быть найдено следующим образом:

$$W_c = n \cdot P_c, \quad (1)$$

где n – число часов солнечной активности в году, ч;

P_c – средняя активная мощность преобразованной солнечной энергии в течение времени солнечной активности, Вт.

В течение календарного года интенсивность ветрового потока систематически изменяется и зависит от скорости ветра.

Получим выражение мощности ветрового потока. Ветер представляет собой механическое движение воздушных масс.

Запишем выражение кинетической энергии ветра:

$$W_v = \frac{m v_v^2}{2}, \quad (2)$$

где m – масса воздуха, кг;

v_v – скорость ветра, м/с.

Массу воздуха, который проходит за одну секунду через определенную площадь пространства, запишем следующим образом:

$$m = \rho S v_v, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – площадь пространства, м².

Подставим (3) в (2) и получим выражение мощности воздушно-го потока:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho S v_v^3. \quad (4)$$

$$[P] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Принимаем для определенных условий:

$$\rho = 1,32 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тогда выражение (4) запишется следующим образом:

$$P_{\text{в}} = \frac{S v_{\text{в}}^3}{1500}, \quad (5)$$

где $P_{\text{в}}$ – мощность ветрового потока, кВт.

Так как в течение времени t скорость ветра $v_{\text{в}}$ непрерывно изменяется, то количество ветровой энергии, преобразованной в электрическую, за определенное время может быть найдено следующим образом:

$$W_{\text{в}} = \frac{S}{1500} \int_0^t v_{\text{в}}^3 \cdot dt, \quad (6)$$

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, будет меньше на эту величину.

Для уменьшения стоимости электрической энергии, используемой для электроотопления жилого дома, можно воспользоваться многоставочным тарифом, используя электрическую энергию только в ночное время.

Из-за большой протяженности электрических сетей напряжением 380/220В, роста нагрузок бытовых потребителей, отсутствия средств на реконструкцию линий возникает проблема улучшения уровня питающего напряжения сельских потребителей [3].

Суть проблемы состоит в том, что сегодня напряжение на зажимах сельских потребителей значительно отклоняется в сторону уменьшения от заданных норм, хотя наблюдаются и случайные увеличения напряжения на зажимах потребителей. Это приводит к опасности выхода из строя электродвигателей привода бытовой техники: холодильников, стиральных машин и другой.

Рассмотрим, как влияет снижение напряжения на пусковые режимы работы электродвигателей привода холодильников.

Механическая характеристика компрессора холодильника описывается следующим эмпирическим выражением:

$$M_c = M_0 + (M_{\text{сн}} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (7)$$

где M_c – текущий момент сопротивления на валу компрессора, Н·м;

$M_{\text{сн}}$ – номинальный момент сопротивления на валу компрессора при номинальной угловой скорости, Н·м;

M_0 – момент сопротивления трения в движущихся частях компрессора, Н·м;

ω_n – номинальная угловая скорость вала компрессора, рад/с;

ω – текущая угловая скорость вала компрессора, рад/с;

x - коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении угловой скорости вала компрессора. Для компрессора $x=0$.

Рассмотрим электромеханический переходный процесс при пуске асинхронного электродвигателя привода компрессора.

При этом будем считать, что номинальный момент сопротивления на валу компрессора при полной его загрузке равен номинальному моменту приводного электродвигателя, то есть

$$M_{сн} = M_{н}. \quad (8)$$

Тогда (7) переписывается в следующем виде:

$$M_c = M_0 + (M_{н} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_{н}} \right)^x. \quad (9)$$

Механическую характеристику однофазного электродвигателя представим, линеаризовав ее отдельные участки (рис. 1).

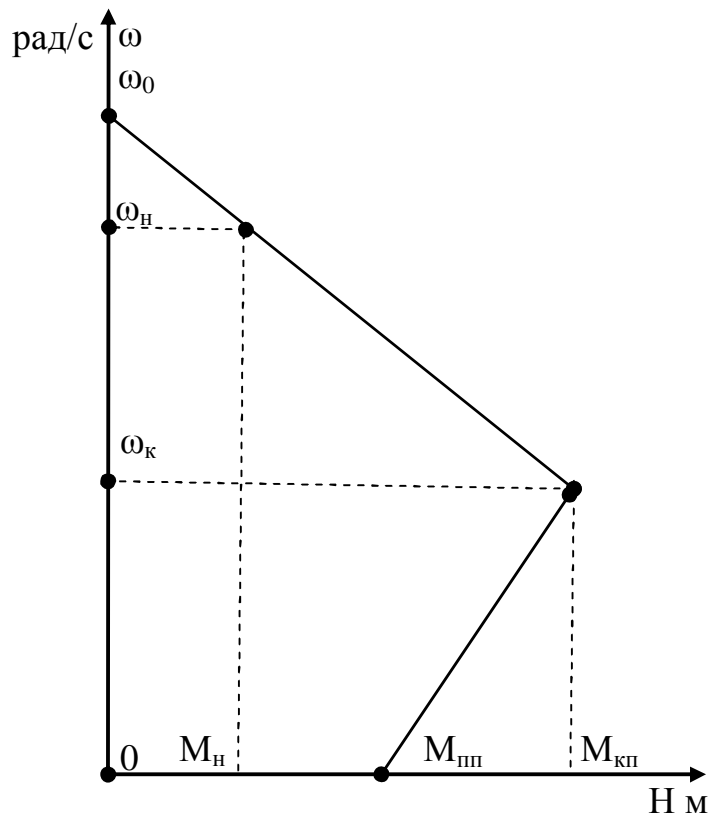


Рис. 1. Линеаризованная механическая характеристика однофазного электродвигателя при пониженном напряжении.

Запишем выражения моментов:

$$M_{кн} = \kappa_U^2 \mu_{к} M_{н}, \quad (10)$$

$$M_{нн} = \kappa_U^2 \mu_{н} M_{н}, \quad (11)$$

где κ_U – кратность напряжения;

$M_{кн}$, $M_{нн}$ – моменты: критический, пусковой при пониженном напряжении, Н·м;

μ_k, μ_n – кратности моментов: критического, пускового;

В основу электромеханического переходного процесса положим уравнение движения системы «электродвигатель – компрессор», считая момент инерции системы величиной постоянной:

$$M = I \frac{d\omega}{dt} + M_c, \quad (12)$$

где M – момент, развиваемый двигателем, Н.м;

I – момент инерции системы «электродвигатель – компрессор», кг·м²;

t – текущее время, с;

ω – угловая скорость вала электродвигателя, рад/с.

На первом участке разгона электродвигателя момент, развиваемый электродвигателем, описывается уравнением:

$$M = (M_{kn} - M_{nn}) \frac{\omega}{\omega_k} + M_{nn}, \quad (13)$$

где ω_k – критическая угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Подставим (13) и (8) в (12) и получим уравнение движения системы на первом участке разгона электродвигателя:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{M_{kn} - M_{nn}}{\omega_k} \omega + M_n - M_{nn} = 0, \quad (14)$$

Перепишем (14) в следующем виде:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{k_U^2 \mu_k M_n - k_U^2 \mu_n M_n}{\omega_k} \omega + M_n - k_U^2 \mu_n M_n = 0, \quad (15)$$

Перепишем уравнение (15) в относительных единицах:

$$\frac{J}{M_n} \frac{d\omega}{dt} - \frac{k_U^2 \mu_k - k_U^2 \mu_n}{\omega_k} \omega + 1 - k_U^2 \mu_n = 0, \quad (16)$$

Преобразуем уравнение (16):

$$T_1 \frac{d\omega}{dt} - \omega + \frac{1 - k_U^2 \mu_n}{k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \omega_k = 0, \quad (17)$$

$$\text{где} \quad T_1 = \frac{J \omega_k}{M_n k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \quad (18)$$

Решив уравнение (16), находим выражение текущей угловой скорости на первом участке разгона электродвигателя:

$$\omega = \frac{(1 - k_U^2 \mu_n)}{k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \omega_k (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}), \quad (19)$$

Приняв при t_1 $\omega = \omega_k$, находим из уравнения (19) время разгона электродвигателя на первом участке:

$$t_1 = T_1 \ln \frac{(1 - k_U^2 \mu_n) \omega_k - k_U^2 (\mu_k - \mu_n)}{(1 - k_U^2 \mu_n) \omega_k}, \quad (20)$$

Момент, развиваемый электродвигателем на втором участке разгона

$$M = (M_{kn} - M_{np}) \frac{\omega_k - \omega}{\omega_k - \omega_k} + M_{np}, \quad (21)$$

Подставив (21) и (8) в (12), получим:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{M_{кн} - M_{нл}}{\omega_{н} - \omega_{к}} (\omega_{н} - \omega) = 0, \quad (22)$$

Перепишем уравнение (22) в относительных единицах:

$$\frac{J}{M_{н}} \frac{d\omega}{dt} + \frac{k_{\bar{U}}^2 \mu_{к} - k_{\bar{U}}^2}{\omega_{н} - \omega_{к}} \omega - \frac{k_{\bar{U}}^2 \mu_{к} - k_{\bar{U}}^2}{\omega_{н} - \omega_{к}} \omega_{н} = 0, \quad (23)$$

$$T_2 = \frac{J(\omega_{н} - \omega_{к})}{M_{н}(k_{\bar{U}}^2 \mu_{к} - k_{\bar{U}}^2)} \quad (24)$$

$$T_2 \frac{d\omega}{dt} + \omega - \omega_{н} = 0, \quad (25)$$

Решив уравнение (24), находим выражение текущей угловой скорости на втором участке разгона электродвигателя:

$$\omega = \omega_{н} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) + \omega_{к} e^{-\frac{t}{T_2}}, \quad (26)$$

Приняв при t_2 $\omega = \omega_{н}$, находим из уравнения (26) время разгона электродвигателя на втором участке:

$$t_2 = T_2 \ln \frac{1 - \frac{\omega_{к}}{\omega_{н}}}{1 - \kappa}, \quad (27)$$

Количественный анализ проведем на примере приводного электродвигателя холодильника «Донбасс-9» типоразмера ЭД-24 со следующими каталожными данными:

$P_{2н} = 0,125$ кВт; $\eta_{н} = 0,60$; $\cos \varphi_{н} = 0,92$; $U_{н} = 220$ В; $s_{н} = 0,055$; $s_{к} = 0,51$; $\mu_{п} = 1,5$; $\mu_{к} = 2,5$.

Определяем номинальную и критическую угловые скорости:

$$\omega_{н} = \omega_0 (1 - s_{н}), \quad (28)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60}, \quad (29)$$

$$\omega_{к} = \omega_0 (1 - s_{к}), \quad (30)$$

где n_0 – синхронная скорость вращения вала электродвигателя, об/мин.

Подставив значения физических величин, находим:

$\omega_0 = 314$ рад/с; $\omega_{н} = 296,7$ рад/с; $\omega_{к} = 153,9$ рад/с.

Принимаем значения параметра $J/M_{н}$ равным $0,01$ с², значения коэффициента приложенного напряжения k_u в пределах от 1,1 до 0,85. Рассчитываем значения электромеханической постоянной времени T_1 по (18) и значения времени разгона электродвигателя на первом участке t_1 по (20). Результаты расчетов заносим в табл. 1.

Таблица 1

k_u	0,8164	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05
T_1, c	2,31	2,13	1,9	1,71	1,54	1,4
t_1, c	$2,31 \cdot \ln(-17,3)$	0,12	0,05	0,03	0,02	0,02

При кратности напряжения $k_u = 0,8164$ электродвигатель не запускается.

Рассчитываем значения электромеханической постоянной времени T_2 по (24) и значения времени разгона электродвигателя на втором участке t_2 по (27). Результаты расчетов заносим в табл. 2.

Таблица 2

k_u	0,8165	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05
T_2	2,14	1,77	1,39	1,14	0,95	0,81
t_2	3,37	2,78	2,19	1,79	1,5	1,28

Выводы:

1. Используя солнечную и ветровую энергию, можно существенно уменьшить потребление электрической энергии от существующих электрических сетей для целей электрообеспечения жилых домов в сельской местности.
2. Уровни напряжения на зажимах сельских потребителей могут существенно влиять на долговечность электродвигателей привода компрессоров, холодильных машин и другой бытовой техники.
3. Полученные зависимости электромеханических переходных процессов позволяют оценить тепловые переходные процессы в электродвигателе привода компрессора в период пуска и в послепусковой период в функции кратности напряжения на зажимах электродвигателя. Так, для холодильника типа «Донбасс-9» при снижении кратности приложенного напряжения до $k_u=0,8165$ электродвигатель привода компрессора вообще не запускается, что приведет к выходу его из строя.

Литература

1. Михайленко Е. Ю. Обзор существующих конструкций ветроэнергетических установок/ Е.Ю. Михайленко// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.13. Т. 2 – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 203 с.
2. Лукомський Д. В. Вплив затемнення на параметри фотоелектричних сонячних модулів/ Д.В. Лукомський // Збірник наукових праць Військового Інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – 2012. – №8. – С. 115–119.
3. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве/ В.В. Овчаров. - Киев: Изд-во УСХ. 1990.-168 с. – ISBN 5-7987-0044-5.

КОМБІНОВАНА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

В. В. Овчаров, С. В. Овчаров, А. А. Стребков

Анотація - досліджені можливі шляхи електропостачання житлових будинків, а також електромеханічні перехідні процеси в електродвигунах побутової техніки при зниженому рівні напруги на затискачах споживача.

COMBINED ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF LIVING HOUSES

V. Ovcharov, S. Ovcharov, A. Strebkov

Summary

Possible ways for living houses electric supply have been researched as well as electric and mechanical transitional processes in electric motors of appliances under low voltage level at consumer's terminals.