

2. Фурсанов М. И. Методология и практика расчётов потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М. И. Фурсанов. – Минск: Технология, 2001. – 247 с.
3. Бурков В. Н. Прикладные задачи теории графов / В. Н. Бурков, И. А. Георгидзе, С. Е. Ловецкий. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 234 с.
4. Робишо Л. Направленные графы и их приложение к электрическим цепям и машинам / Л. Робишо, М. Буавер, М. Робер. – М.; Л.: Энергия, 1964. – 248 с.
5. Lin P. M. Symbolic network analysis. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo: Elsevier, 1991. – 319 p.
6. Вержбицкий В. М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения / В. М. Вержбицкий. – М.: Высшая школа, 2000. – 266 с.
7. Дудкевич А. Т. Практична реалізація методів розв'язання нелінійних рівнянь і систем: навч.-метод. посіб. / А. Т. Дудкевич, С. М. Левицька, С. М. Шахно. – Львів, 2007. – 78 с.

УДК 621.316.1.017

**В.В. Зорин**, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

**Р.А. Буйный**, канд. техн. наук,

**А.В. Красножон**, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПО РЯДУ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Рассмотрено возможные пути повышения пропускной способности линий электропередачи и определена их эффективность по условиям нагрева, режима напряжения, снижению потерь мощности и надежности.*

С ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии параметры электрической сети и соответственно параметры режимов должны периодически изменяться для повышения пропускной способности. Эти изменения должны выполняться таким образом, чтобы в пределах рассматриваемого периода обеспечить наиболее эффективное использование денежных средств, материалов и трудовых ресурсов. Снижение технологического расхода электроэнергии на ее транспорт в линиях электропередач (ЛЭП) и в трансформаторах подстанций (ТП) является частью общей задачи повышения экономичности работы электрической сети и энергосистемы в целом. Следует стремиться на протяжении всего срока эксплуатации оборудования электрической сети поддерживать экономически оправданные режимы.

Обычно при решении задач повышения пропускной способности сети рассматривают две группы мероприятий. Первая – организационные мероприятия, как правило, беззатратные или малозатратные мероприятия эксплуатационного характера. И вторая группа – это технические мероприятия, для реализации которых требуются дополнительные капиталовложения. Естественно, в первую очередь, должны быть использованы организационные мероприятия, и в случае необходимости – технические.

К техническим мероприятиям по повышению эффективности режимов распределительных электрических сетей могут быть отнесены следующие [1; 2]:

1. Установка и ввод в работу устройств компенсации реактивной мощности в сети 0,38 кВ и 6-10 кВ. Компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей поперечного включения является комплексным, высокоэффективным средством повышения качества электроснабжения, решая задачи энергосбережения, качества электрической энергии, надежности.
2. Использование установок продольной емкостной компенсации, включаемые в рассечку ЛЭП. Применение продольной емкостной компенсации позволяет существенно повысить пропускную способность сети по режиму напряжения. Особенно эффективны такие установки в воздушных ЛЭП и при значительных колебаниях напряжения.

3. Замена проводов перегруженных воздушных ЛЭП и кабельных, проложенных в открытых каналах на большие сечения. Это приводит к повышению пропускной способности ЛЭП по нагреву, улучшению режима напряжения, повышению надежности электроснабжения.

4. Разделение перегруженной, протяженной линии на две части. Такое мероприятие по повышению пропускной способности может обеспечить на 2/3 снижение потерь мощности и величину потерь напряжения, а также сократить величину недоотпущенной электроэнергии.

5. Сооружение дополнительных трансформаторных подстанций и некоторых участков новых линий.

В качестве примера рассмотрим эффективность повышения пропускной способности по ряду критериев путем замены существующего сечения провода  $F_1$  на новое  $F_2$  ( $F_2 > F_1$ ) на одну стандартную ступень  $n = 1$  и на две стандартных ступени  $n = 2$ .

### 1. По условиям нагрева.

По условиям нагрева допустимым током  $I_{g1}$  при сечении  $F_1$  предельная пропускная способность по активной мощности составит:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_{g1} \cos \varphi.$$

Также при переходе на сечение  $F_2$ , где  $F_2 > F_1$  имеем:

$$P_2 = \sqrt{3}UI_{g2} \cos \varphi.$$

Увеличение пропускной способности  $\delta P$  при замене сечения  $F_1$  на  $F_2$  составит:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}U \cos \varphi (I_{g2} - I_{g1}) \times \frac{P_1}{\sqrt{3}U \cos \varphi I_{g1}} = P_1 \left( \frac{I_{g2}}{I_{g1}} - 1 \right).$$

Для воздушных линий с сечением провода АС-50 будем иметь:

$$n=1, F_1 = 50, F_2 = 70, I_{g1} = 210A, I_{g2} = 265A, \delta P = \left( \frac{265}{210} - 1 \right) = 0,26P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 26 %.

$$n=2, F_1 = 50, F_2 = 95, I_{g1} = 210A, I_{g2} = 330A, \delta P = \left( \frac{330}{210} - 1 \right) = 0,57P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 57 %.

### 2. По условиям режима напряжения.

Оценим увеличение пропускной способности линии по активной мощности при замене сечения провода  $F_1$  на большее  $F_2$  по условиям режима напряжения, когда потери напряжения  $\Delta U$  в линии до и после замены сечения провода остаются постоянными  $\Delta U_1 = \Delta U_2$ .

При  $F_1$   $\Delta U_1 = \sqrt{3}I_1(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)$ , при  $F_2$   $\Delta U_2 = \sqrt{3}I_2(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi)$ . Приравняв оба выражения и решив полученное уравнение относительно  $I_2$ , будем иметь:

$$I_2 = I_1 \frac{(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)}{(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi)} = aI_1, \text{ где } a = \frac{(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi)}{(r_2 \cos \varphi + x_2 \sin \varphi)}.$$

Пропускная способность линии по активной мощности  $P$  при сечениях проводов  $F_1$  и  $F_2$  равна соответственно:

$$P_1 = \sqrt{3}UI_1 \cos \varphi \text{ и } P_2 = a\sqrt{3}UI_1 \cos \varphi.$$

Тогда увеличение пропускной способности  $\delta P$  по режиму напряжения:

$$\delta P = P_2 - P_1 = \sqrt{3}UI_1 \cos \varphi (a - 1) = P_1(a - 1).$$

$$n = 1, F_1 = 50, F_2 = 70, \cos \varphi = 0,8, a = \frac{0,62 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6}{0,44 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6} = 1,24, \delta P = p_1(1,24 - 1) = 0,24P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 24 %.

$$n = 2, F_1 = 50, F_2 = 95, \cos \varphi = 0,8, a = \frac{0,62 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6}{0,326 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6} = 1,47, \delta P = p_1(1,47 - 1) = 0,47P_1,$$

т. е. увеличение пропускной способности на 47 %.

### 3. По условиям снижения потерь мощности $\Delta P$ .

Потери активной мощности в линиях при сечениях  $F_1$  и  $F_2$  будут равны:

$$\Delta P_1 = 3I_{g1}^2 l \frac{\rho}{F_1}, \Delta P_2 = 3I_{g1}^2 l \frac{\rho}{F_2}, I_2 = I_{g1}.$$

Тогда снижение потерь мощности  $\delta \Delta P$  при замене сечения  $F_1$  на  $F_2$ :

$$\delta \Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 3\rho l \left( \frac{I_{g1}^2}{F_1} - \frac{I_{g1}^2}{F_2} \right) \times \frac{\Delta P_1 F_1}{3I_{g1}^2 \rho l} = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{F_1}{F_2} \right).$$

$$n = 1, F_1 = 50, F_2 = 70, \delta \Delta P = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{F_1}{F_2} \right) = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{50}{70} \right) = 0,29\Delta P_1,$$

т. е. снижение потерь активной мощности на 29 %.

$$n = 2, F_1 = 50, F_2 = 95, \delta \Delta P = \Delta P_1 \left( 1 - \frac{50}{95} \right) = 0,47\Delta P_1,$$

т. е. снижение потерь активной мощности на 47 %.

В таблицах 1, 2 показаны возможности повышения пропускной способности перегруженных ЛЭП путем замены существующих сечений проводов на большие для всей шкалы стандартных сечений.

Таблица 1

*Показатели эффективности повышения пропускной способности ЛЭП при замене существующего сечения провода на новое на одну стандартную ступень*

Сечения	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри		
35-50	0,20	0,22	0,30	0,20
50-70	0,26	0,27	0,29	0,24
70-95	0,25	0,24	0,26	0,18
95-120	0,18	0,20	0,21	0,13
120-150	0,15	0,17	0,20	0,12
150-185	0,16	0,18	0,19	0,10

Таблица 2

*Показатели эффективности повышения пропускной способности ЛЭП при замене существующего сечения провода на новое на две стандартных ступени*

Сечения	Увеличение пропускной способности по нагреву допустимым током, о.е.		Снижение потерь активной мощности, о.е.	Увеличение пропускной способности по условиям режима напряжения, о.е.
	вне помещения	внутри		
35-70	0,514	0,556	0,500	0,49
50-95	0,571	0,576	0,474	0,46
70-120	0,472	0,490	0,417	0,33
95-150	0,364	0,404	0,367	0,26
120-185	0,333	0,374	0,351	0,23

Как видно из таблиц 1 и 2, эффективность мероприятий по повышению пропускной способности элементов сети с увеличением сечений проводов снижается.

Рассмотрим еще один из возможных способов повышения пропускной способности существующей протяженной линии по ряду критериев (потерь мощности, режиму напряжения и надежности). Пусть имеется существующая распределительная линия электропередачи с равномерно распределенной нагрузкой и плотностью нагрузки  $P_0$  кВт/км, длиной  $L$  км и удельным сопротивлением провода  $r_0$  Ом/км (рис. 1, а). Стоит задача снизить потери активной мощности  $\Delta P$ , улучшить режим напряжения  $\Delta U$  и повысить надежность электроснабжения  $W_{нео}$ , путем разделения существующей линии на части и сооружение участка новой линии (рис. 1, б). При этом необходимо выбрать оптимальную величину места разреза существующей линии (протяженность участка  $X$ ), при котором обеспечивается минимум потерь мощности схемы  $\Delta P = \min$ , или равенство потерь напряжения в образованных двух линиях  $\Delta U_1 = \Delta U_2$  или наименьшую величину недоотпущенной электроэнергии  $W_{нео} = \min$  [3].

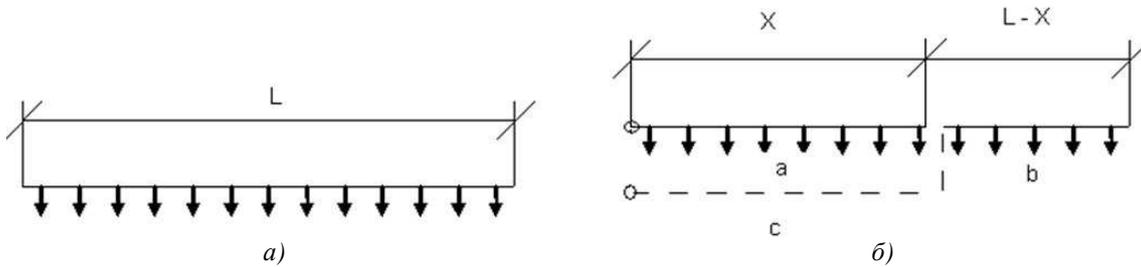


Рис.1. Существующая линия до реконструкции (а) и после реконструкции (б)

Потери активной мощности в существующей исходной линии составляют:

$$\Delta P_{исх} = \frac{1}{3} \frac{P_0^2}{U^2} r_0 L^3 = AL^3,$$

а потери напряжения:

$$\Delta U_{исх} = \frac{1}{2} \frac{P_0 r_0}{10U_n^2} L^2 = BL^2.$$

Недоотпуск электрической энергии в исходной линии  $W_{нео}$  кВт×ч оценивается параметром потока отказов  $w_0$  1/км·год, средним временем восстановления электроснабжения  $\tau_{час}$ , удельной плотностью нагрузки  $P_0 \frac{кВт}{км}$  и длиной участка линии  $L$  км.

$$W_{исх} = w_0 \cdot P_0 \cdot \tau \cdot L^2 = CL^2.$$

### 1. Разделение линии на части при условии $\Delta U_1 = \Delta U_2$ .

Определяем потери напряжения на участках “а”, “б” и “с” преобразованной линии, выполненной на участке “с” проводом АС-50:

$$\begin{aligned} \Delta U_a &= Bx^2 = \Delta U_{исх} X^2, \\ \Delta U_b &= B(L-x)^2 = B(L^2 - 2Lx + x^2) = \Delta U_{исх} (1 - 2X + X^2), \\ \Delta U_c &= 2 \cdot B(L-x)x = 2B(Lx - x^2) = \Delta U_{исх} (2X - 2X^2), \end{aligned}$$

где  $X$  – относительная длина участков линий  $X = x/L$ .

Записав равенство  $\Delta U_a = \Delta U_b + \Delta U_c$  найдем значение  $X$ :

$$\Delta U_{исх} X^2 = \Delta U_{исх} (1 - 2X + X^2 + 2X - 2X^2) \rightarrow X^2 = 1 - X^2 \rightarrow 2X^2 = 1 \rightarrow X = 0,71.$$

При этом потери напряжения до концов участков линий составят:

$$\Delta U_a = \Delta U_{ucx} X^2 = 0,5\Delta U_{ucx}, \quad \Delta U_b + \Delta U_c = \Delta U_{ucx} (1 - X^2) = 0,5\Delta U_{ucx}.$$

Таким образом, потери напряжения уменьшились в два раза.

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке “с” принимается большее сечение. Вместо АС-50  $r_0 = 0,62 \text{ Ом/км}$  устанавливается сечение АС-95  $r_0 = 0,326 \text{ Ом/км}$ . При этом соотношение удельных сопротивлений составит  $0,62/0,326 = 1,9$ . В этом случае потеря напряжения на участке “с” составит:

$$\Delta U_c = \frac{2}{1,9} B(L-x)x = 1,05B(Lx - x^2) = 1,05B(X - X^2) = \Delta U_{ucx} (1,05X - 1,05X^2).$$

Приравнявая потерю напряжения на участке “а” –  $\Delta U_a$  к потере напряжения на участках “b+c” –  $(\Delta U_b + \Delta U_c)$  получим:

$$X^2 = 1 \cdot 2X + X^2 + 1,05X + 1,05X^2, \quad X^2 + 0,9X - 0,95 = 0,$$

откуда находим искомое значение  $X = 0,62$ .

При этом потеря напряжения будет равна  $\Delta U = 0,38\Delta U_{ucx}$ .

Аналогично поступаем в случае замены на участке “с” АС-50 на сечение АС-150  $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$ . Соотношение их удельных сопротивлений составит  $0,62/0,206 = 3$ . Тогда потеря напряжения на участке “с” будет равна:

$$\Delta U_c = \frac{2}{3} B(L-x)x = \Delta U_{ucx} (0,67X - 0,67X^2).$$

Приравняв потерю напряжения на участке “а” –  $\Delta U_a$  к потере напряжения на участках “b+c” –  $(\Delta U_b + \Delta U_c)$  получим:

$$X^2 = 1 - 2X + X^2 + 0,67X - 0,67X^2, \quad X^2 + 1,98X - 1,49 = 0,$$

откуда находим искомое значение  $X = 0,58$ .

При этом потери напряжения до концов участков линий составят:

$$\Delta U_a = \Delta U_{ucx} X^2 = 0,34\Delta U_{ucx},$$

$$\Delta U_b + \Delta U_c = \Delta U_{ucx} (1 - 2X + X^2 + 0,67X - 0,67X^2) = 0,34\Delta U_{ucx}.$$

## 2. Разделение линии на части по критерию $\Delta P = \min$ .

Определяем потери мощности на участках “а”, “b” и “с” преобразованной линии, на которых выбрано сечение АС-50,  $r_0 = 0,62 \text{ Ом/км}$ .

$$\Delta P_a = Ax^3 = \Delta P_{ucx} X^3,$$

$$\Delta P_b = A(L-x)^3 = A(L^3 - 3L^2x + 3Lx^2 - x^3) = \Delta P_{ucx} (1 - 3X + 3X^2 - X^3),$$

$$\Delta P_c = 3A(L-x)^2 x = 3A(L^2x - 2Lx^2 + x^3) = \Delta P_{ucx} (3X - 6X^2 + 3X^3).$$

Тогда суммарные потери мощности на участках “а”, “b” и “с” составят:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c = \Delta P_{ucx} (3X^3 - 3X^2 + 1).$$

Берем первую производную выражения  $\Delta P_\Sigma$  по  $X$ , приравняем нулю и решаем уравнение относительно  $X$ :

$$\frac{\partial \Delta P_\Sigma}{\partial X} = 3X^2 - 2X = 0 \rightarrow X^2 - 0,67X = 0 \rightarrow X = 0,67.$$

Таким образом, оптимальное место разделения линии составляет  $x = 0,67L$ , что обеспечивает  $\Delta P_\Sigma = \min$  (рис. 2).

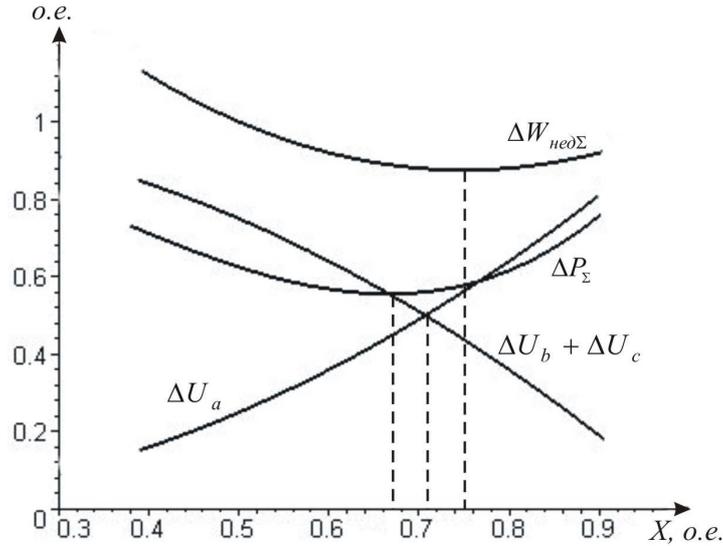


Рис. 2. Зависимости параметров режима от места разреза существующей линии  
 При этом потери активной мощности составят:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{исх}} (3 - 0,67^3 - 3 \cdot 0,67^2 + 1) = 0,55 \Delta P_{\text{исх}} = \Delta P_{\text{min}}.$$

Таким образом, потери мощности уменьшились почти в два раза.

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке “с” принимается сечение АС-95  $r_0 = 0,326 \text{ Ом/км}$ , вместо АС-50, при этом соотношение удельных сопротивлений составит  $0,62/0,326 = 1,9$ . В этом случае потеря активной мощности на участке “с” будет равна:

$$\Delta P_c = \frac{3}{1,9} B(L-x)^2 x = \Delta P_{\text{исх}} (1,58X^3 - 3,16X^2 + 1,58X).$$

Тогда суммарные потери мощности на участках “а”, “б” и “с” составят:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c = \Delta P_{\text{исх}} (1,58X^3 - 0,16X^2 - 1,42X + 1).$$

Возьмем первую производную выражения  $\Delta P_{\Sigma}$  по  $X$ , приравняем нулю и решаем уравнение относительно  $X$ :

$$\frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial X} = 4,74X^2 - 0,32X - 1,42 = 0 \rightarrow X^2 - 0,07X - 0,3 = 0 \rightarrow X = 0,58.$$

При этом минимальные потери активной мощности составят:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{исх}} (1,58 \cdot 0,58^3 - 0,16 \cdot 0,58^2 - 1,42 \cdot 0,58 + 1) = 0,44 \Delta P_{\text{исх}} = \Delta P_{\text{min}}.$$

Определим оптимальное место разделения линии при условии, что на новом участке “с” принимается сечение АС-150  $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$ , вместо АС-50, при этом соотношение удельных сопротивлений составит  $0,62/0,206 = 3$ . Поступая аналогично предыдущему случаю получим:

$$X=0,55,$$

а оптимальные потери мощности будут равны:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{исх}} (1,58X^3 - 0,16X^2 - 1,42X + 1) = 0,434 \Delta P_{\text{исх}}.$$

### 3. Разделение линии на части при условии $\Delta W_{\text{неод}\Sigma} = \text{min}$ .

Определяем значения недоотпущенной электроэнергии на участках линий  $\Delta W_{\text{неод}(a)}$ ,  $\Delta W_{\text{неод}(b)}$  и  $\Delta W_{\text{неод}(c)}$  в преобразованной схеме:

$$\Delta W_{\text{неод}(a)} = Cx^2 = W_{\text{неод}(a)}^{\text{исх}} X^2, \quad \Delta W_{\text{неод}(b)} = C(L-x)^2 = W_{\text{неод}(b)}^{\text{исх}} (1 - 2X + X^2),$$

$$\Delta W_{\text{неод}(c)} = C(L-x)L = W_{\text{неод}(c)}^{\text{исх}} (1 - X).$$

Тогда суммарная величина недоотпущенной электроэнергии на участках “а”, “б” и “с” составит:

$$\Delta W_{нео\Sigma} = W_{нео(a)}^{исх} + W_{нео(b)}^{исх} + W_{нео(c)}^{исх} = (2X^2 - 3X + 2)W_{нео\Sigma}^{исх}.$$

Берем первую производную выражения  $\Delta W_{нео\Sigma}$  по  $X$  приравняем нулю и решаем уравнение относительно  $X$ :

$$\frac{\partial W_{нео\Sigma}}{\partial X} = 4X - 3 = 0 \rightarrow X = 0,75.$$

Таким образом, оптимальное место разделения линии составит  $X = 0,75$ , что обеспечивает  $\Delta W_{нео\Sigma} = \min$  (рис. 2). При этом величина недоотпущенной электроэнергии будет равна:

$$\Delta W_{нео\Sigma} = W_{нео\Sigma}^{исх} (2 \cdot 0,75^2 - 3 \cdot 0,75 + 2) = 0,875.$$

Дополнительный эффект по снижению потерь мощности и потерь напряжения может быть получен, если на участке “с” новой линии использовать сечения больше, чем до реконструкции (табл. 3), а длина нового участка линии может быть сокращена почти на половину.

Таблица 3

*Эффект от снижения потерь мощности  $\Delta P$  и потерь напряжения  $\Delta U$*

Линии электропередачи	Сечение проводов	$r_0$ , Ом/км	По критерию $\Delta P$		По критерию $\Delta U$	
			Длина линии “с”, о.е.	Уровень снижения $\Delta P$ , о.е.	Длина линии “с”, о.е.	Уровень снижения $\Delta U$ , о.е.
Существующая линия	АС 3×50	0,62	1	1	1	1
Новый участок “с”	АС 3×50	0,62	0,67	0,55	0,71	0,5
	АС 3×95	0,326	0,58	0,44	0,62	0,38
	АС 3×150	0,206	0,55	0,43	0,58	0,34

Окончательное решение по выбору того или иного мероприятия по повышению пропускной способности линии электропередачи, рассмотренные в данной статье, может быть получено на основании технико-экономического расчета.

#### **Выводы.**

1. В связи с ростом электрических нагрузок и присоединением новых потребителей электрической энергии возникают ограничения по пропускной способности электрических сетей (нагреву, потерям мощности, режиму напряжения, надежности). В связи с этим возникает необходимость осуществления мероприятий по улучшению режимов.

2. В соответствии с требованиями ПУЭ [4] сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока (по экономическим интервалам). Данными указаниями следует руководствоваться также при замене существующих проводников проводами большего сечения. При этом должна учитываться полная стоимость всех работ по демонтажу и монтажу оборудования ЛЭП.

3. В результате проведенных расчетов показано, что при замене существующего сечения  $F_1$  на новое  $F_2$  ( $F_2 > F_1$ ) на одну стандартную ступень и на две стандартных ступени позволяет повысить пропускную способность линии по нагреву, по потере напряжения, по потере мощности соответственно в среднем на 25 % и на 50 %.

4. Мероприятие по повышению пропускной способности перегруженных линий электропередачи по ряду критериев путем разделения существующей линии на две части позволяет снизить потери активной мощности и потери напряжения вдвое. Дополнительный эффект по снижению потерь может быть получен, если на участке новой линии использовать сечение провода больше, чем на линии до реконструкции. При этом удастся снизить потери в три раза, а протяженность новой линии уменьшить наполовину.

5. Окончательный выбор мероприятий по повышению пропускной способности линий следует сделать на основании соответствующего технико-экономического расчета.

**Список использованных источников**

1. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов: ЧГТУ, 2005. – 341 с.
2. Экономическое обоснование технических решений в системах электроснабжения общего назначения в рыночных условиях / В. В. Зорин, Б. Н. Сердюк, Е. А. Боркунова, Р. А. Буйный // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий: сб. трудов. – Минск: БНТУ, 2011. – С.181-192.
3. Зорин В. В. К вопросу о выборе параметров линий электропередачи / В. В. Зорин // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2008. – № 2. – С.61-67.
4. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и дополн. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.341.572

**О. В. Будьонний**, канд. техн. наук

**Є.Ю. Коваленко**, магістрант

**М.А. Прокопець**, магістрант

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

**ДРАЙВЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ MOSFET ТА IGBT  
 ТРАНЗИСТОРАМИ**

*Зроблено опис та принципову схему драйвера для керування силовими IGBT та MOSFET транзисторами. Розроблений прилад має значно нижчу вартість та кращі технічні показники, ніж існуючі драйвери, та не має моточних елементів, що дозволяє інтегрувати його в одну ІМС.*

**Вступ.** На сьогодні в багатьох пристроях перетворювальної техніки необхідні ключі, здатні комутувати струми в десятки ампер та напруги в сотні вольт [1]. Для таких транзисторів потрібні системи керування, які б дозволили отримати достатньо круті фронти на високих частотах та захистити транзистор у випадку перевищення його номінального струму. Більшість драйверів, що випускає промисловість, не повністю задовольняють ці вимоги [2]. Тому метою цієї роботи є розробка драйвера, який би не мав недоліків існуючих уже аналогів, мав низьку ціну, міг би бути виготовлений у корпусі однієї ІМС та мав широкий діапазон застосування: зварювальні інвертори, перетворювачі частоти і т. д. (табл. 1).

Таблиця 1

*Порівняльна таблиця характеристик розробленого драйвера та аналогів*

Тип	Максимальний вихідний струм	Час спрацьовування інтегрального захисту	Час спрацьовування швидкодійного захисту	Драйвер витримує коротке замикання на виході	Довжина фронтів (C=9nF)	Кількість елементів у схемі	Ціна
IR2101	0,2А	-	-	-	2,5 мкс	3	1,5\$
IR2125	1,5А	від 20 мкс	-	-	1 мкс	5	3\$
Драйвери модулів SEMICRON	10А	від 10 мкс	від 1 мкс	+	100 нс	близько 100, 5 трансформаторів	150\$
Розроблений драйвер	10А	від 300 нс	від 300 нс	+	100 нс	27, без моточних виробів	2\$