

Е.В. ГОНЧАРОВ, Н.В. КРЮКОВА, В.С. МАРКОВ, И.В. ПОЛЯКОВ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОНЯТИЯ «РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ»

Определение понятия «реактивная мощность» нуждается в уточнении, так как в литературе зачастую оно дается крайне расплывчато, что вызывает трудности восприятия у студентов и не совсем понятно широкой публике. Анализ многочисленных источников показывает, что физический смысл этого понятия почти ускользает из приведенных в этих источниках определений. Причем, формула, по которой вычисляется реактивная мощность, нареканий не вызывает. Однако она не объясняет физический смысл понятия. Необходимость в емком и отражающем физический смысл определении давно назрела. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что реактивной мощности, соответствует энергия, которая идет от источника к потребителю и возвращается обратно, причем, процесс круговорота этой энергии протекает без рассеивания. Эта энергия сохраняется в индукторах, поддерживая неизменное значение тока, и конденсаторами, потому что они заряжаются и разряжаются, поддерживая неизменное значение напряжения. Индуктивность и емкость цепи потребляют и возвращают реактивную мощность. Мощность, передаваемая индуктивности, сохраняется в магнитном поле, когда поле расширяется и возвращается к источнику, когда поле схлопывается. Мощность, подаваемая на емкость, сохраняется в электростатическом поле, когда конденсатор заряжается и возвращается к источнику, когда конденсатор разряжается. Эта мощность, подаваемая в цепь источником, не потребляется. Она вся возвращается к источнику. Таким образом, активная мощность, которая представляет собой потребляемую мощность, равна нулю. Мы знаем, что переменный ток постоянно меняется; таким образом, постоянно возникают циклы расширения и схлопывания магнитных и электростатических полей. Предложено следующее определение: нерассеиваемая электрическая энергия переменного тока, которая возбуждает магнитные или электрические поля, соответственно в индуктивных и емкостных элементах и, поступающая от них обратно в сеть, называется реактивной мощностью.

Ключевые слова: реактивная мощность, определение понятия «реактивная мощность».

Є.В. ГОНЧАРОВ, Н.В. КРЮКОВА, В.С. МАРКОВ, І.В. ПОЛЯКОВ

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ «РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ»

Визначення поняття «реактивна потужність» потребує уточнення, так як в літературі часто воно дається вкрай розпливчато, що викликає труднощі сприйняття у студентів і не зовсім зрозуміло широкій публіці. Аналіз численних джерел показує, що фізичний зміст цього поняття майже вислизає з наведених в цих джерелах визначень. Причому, формула, за якою обчислюється реактивна потужність, нарікань не викликає. Однак вона не пояснює фізичний зміст поняття. Необхідність в єдиному і відбиває фізичний зміст визначенні давно назріла. Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що реактивної потужності, відповідає енергія, яка йде від джерела до споживача і повертається назад, причому, процес кругообігу цієї енергії протікає без розсіювання. Ця енергія зберігається в індукторі, підтримуючи постійний значення струму, і конденсаторами, тому що вони заряджаються і розряджаються, підтримуючи постійний значення напруги. Індуктивність і ємність ланцюга споживають і повертають реактивну потужність. Потужність, що передається індуктивності, зберігається в магнітному полі, коли поле розширюється і повертається до джерела, коли поле різко зменшується. Потужність, що подається на ємність, зберігається в електростатичному полі, коли конденсатор заряджається і повертається до джерела, коли конденсатор розряджається. Ця потужність, що подається в ланцюг джерелом, не споживається. Вона вся повертається до джерела. Таким чином, активна потужність, яка представляє собою споживану потужність, дорівнює нулю. Ми знаємо, що змінний струм постійно змінюється; таким чином, постійно виникають цикли розширення та зменшення магнітних і електростатичних полів. Запропоновано наступне визначення: електрична енергія змінного струму, яка не розсіюється та збуджує магнітні або електричні поля, відповідно в індуктивних і ємнісних елементах і, що надходить від них назад в мережу, називається реактивною потужністю.

Ключові слова: реактивна потужність, визначення поняття «реактивна потужність».

E. V. HONCHAROV, N. V. KRUYKOVA, V. S. MARKOV, I. V. POLYAKOV

A DEFINITION OF THE "REACTIVE POWER" CONCEPT

A definition of the "reactive power" concept needs to be clarified, since in the literature it is often given extremely vaguely, which causes difficulties in students' perception and is not entirely clear to the general public. Analysis of numerous sources shows that the physical meaning of this concept almost escapes the definitions given in these sources. Moreover, the formula by which the reactive power is calculated raises no objections. However, it does not explain the physical meaning of the concept. The need for a capacious definition that reflects the physical meaning is long overdue. Analysis of literature sources allows us to conclude that reactive power corresponds to the energy that goes from the source to the consumer and returns back, moreover, the process of circulation of this energy proceeds without dissipation. This energy is stored in inductors, keeping the current constant, and in capacitors, because they charge and discharge, keeping the voltage constant. The inductance and capacitance of the circuit consume and return reactive power. The power transferred to the inductor is stored in the magnetic field when the field expands and returns to the source when the field collapses. The power supplied to the capacitor is stored in an electrostatic field when the capacitor is charged and returned to the source when the capacitor is discharged. This power supplied to the circuit by the source is not consumed. It all returns to the source. Thus, the active power, which is the consumed power, is zero. We know that alternating current is constantly changing; thus, cycles of expansion and collapse of magnetic and electrostatic fields constantly occur. The following definition is proposed: non-dissipated electrical energy of alternating current, which excites the magnetic or electric fields, respectively, in inductive and capacitive elements and, coming from them back to the network, is called reactive power.

Key words: reactive power, a definition of the "reactive power" concept

Актуальность. Понятие «реактивная мощность» остается одним из наиболее невнятных в электротехнике. Вызывает оно затруднение и у студентов, и полное непонимание самодеятельных горе-физиков и изобретателей, обитающих на бескрайних просторах

Интернета. Эти-то и делают умозаключения, как сказал классик, «космического масштаба и космической же глупости», которые рассчитаны на самую широкую аудиторию. Другими словами, определение понятия «реактивной мощности» является своеобразным «уз-

© Е.В. Гончаров, Н.В. Крюкова, В.С. Марков, И.В. Поляков, 2021

ким» местом электротехнике, что требует существенного уточнения.

Постановка задачи. Попытаемся дать емкое определение понятию «реактивная мощность», которое бы четко объясняло физическую сущность данного явления.

Анализ. Разберем это определение из доступных источников, начиная от Держстандарта України, а потом из различных учебных пособий. Цитаты будем выделять курсивом для удобства восприятия и брать в кавычки.

Из действующего на момент написания статьи Держстандарта України [1] узнаем, что «реактивна потужність синусоїдного струму двополюсника величина, яка дорівнює добутку діючої напруги, струму та синуса кута зсуву фаз між напругою і струмом».

Строго говоря, из определения мало что понятно. Зачем это самое произведение нужно? И каков его физический смысл? Попробуем разобраться, обратившись к разным источникам в их ретроспективной последовательности.

Один из основателей электротехнической школы в Советском Союзе Карл Адольфович Круг в своем классическом учебнике [2] написал следующее:

«Реактивная мощность представляет собой произведение реактивной слагающей напряжения (проекция вектора напряжения на направление, перпендикулярное к направлению вектора тока) на ток

$$P_r = UI \sin \varphi = U_r I$$

Реактивная мощность является фиктивной величиной, так как индуктивность энергии не поглощает и средняя мощность в индуктивности равна нулю, реактивную мощность обозначают также иногда через букву Q.»

Видим, что определение Держстандарта України практически повторяет вышеприведенное, а также, то, что в середине прошлого века обозначение реактивной мощности было несколько другим. Непонятно, о какой средней мощности говорится: полной, мгновенной или еще какой-то? Да и не является реактивная мощность величиной фиктивной, а вполне измеряемой с помощью ваттметра, подключенного в трехфазную цепь, что показано там же в [2].

Следующий источник из середины прошлого века от еще одного известного специалиста в области электротехники [3]:

«Мерой скорости обмена энергией между генератором и цепью является реактивная мощность Q.»

Данное определение само нуждается в подробном разъяснении, в частности, что имеется в виду под «мерой скорости обмена»?

Тот же автор, но спустя десятилетия [4]:

«Энергию, которой обмениваются источник питания и цепь с индуктивным сопротивлением, характеризуют максимальным значением мгновенной мощности цепи и называют ее реактивной индуктивной мощностью.»

Реактивная мощность цепи с индуктивностью

$$Q_L = UI = \omega LI^2 = \omega W_{L \max}$$

Единица реактивной мощности – вольт-ампер реактивный (вар)».

Здесь уже более понятное определение, но автор ограничивается только «реактивной индуктивной мощностью».

Вот определение от Г.И. Атабекова, автора одного из основных учебников по теоретическим основам электротехники в СССР в семидесятые-девяностые годы двадцатого века [5]:

«При расчетах электрических цепей и на практике и эксплуатации пользуются также понятием реактивная мощность, которая вычисляется по формуле

$$Q = UI \sin \varphi$$

И является мерой потребления (или выработки) реактивного тока. Реактивная мощность положительна при отстающем токе (индуктивная нагрузка) и отрицательна при опережающем токе (емкостная нагрузка)».

Здесь появляется понятие «реактивный ток», которое никак не поясняется, но зато уже вводится в определение понятие о знаке реактивной мощности.

В Энциклопедическом словаре [6] дается следующее определение:

«Величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями электромагнитного поля. Для синусоидального тока

$$Q = UI \sin \varphi$$

Здесь тоже не совсем ясное определение. Что же это за нагрузки, создаваемые колебаниями электромагнитного поля?

В учебнике по общей электротехнике [7] указывается:

«Переменная мощность, идущая на увеличение магнитного или электрического полей или поступающая обратно в сеть, называется реактивной мощностью. Ее амплитуда $Q = UI \sin \varphi$ ».

Это определение четко называет реактивную мощность переменной и связывает ее с увеличением магнитных и электрических полей.

В другом учебнике по электротехнике [8] определение вообще крайне расплывчато:

«Для анализа энергетических процессов в цепи при неполном использовании энергетических возможностей источника вводится понятие о реактивной мощности источника, равной реактивной мощности пассивного двухполюсника

$$Q = EI \sin \varphi = UI \sin \varphi = UI \sin(\psi_u - \psi_i)$$

Пособие по электротехнике [9], изданное в НТУ «ХПИ» в 21-м веке:

« $Q = UI \sin \varphi$ – реактивная мощность всего участка цепи, которая характеризует колебательный процесс передачи энергии между сетью и этим участком.»

Вообще-то процесс передачи энергии в цепи переменного тока не может быть не колебательным в принципе, так как произведение двух синусоид есть косинусоида плюс постоянная составляющая. Вот эта постоянная составляющая и есть активная мощность,

которая всегда имеет знак плюс, так как характеризует процесс рассеивания энергии в виде тепла на резистивных элементах.

Мгновенная мощность для цепи синусоидального тока, как известно,

$$p = ui = U_m \sin(\omega t + \psi_u) I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Если принять начальную фазу тока равной нулю $\psi_i = 0$ и с учетом того, что $\varphi = \psi_u - \psi_i$, то $\varphi = \psi_u$, тогда

$$p = ui = \frac{1}{2} U_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$$

Активная мощность на зажимах источника равна $P = UI \cos \varphi$ или непосредственно на резистивном элементе $P = R^2 I$.

Значит, имеет смысл говорить о свойствах участка цепи, т.е. определить, что участок, о котором идет речь, обладает реактивными свойствами, что это индуктивный или емкостной элемент.

В [9] достаточно подробно математически разбирается реактивная мощность на индуктивном и емкостном элементах:

«Мгновенная мощность в идеальном индуктивном элементе

$$p = ui = \frac{1}{2} U_m I_m \left[\cos \frac{\pi}{2} - \cos(2\omega t + \frac{\pi}{2}) \right] = UI \sin 2\omega t.$$

В данном случае средняя за период, т.е. активная мощность $P=0$, значит энергия в целом не расходуется, а происходит колебательный процесс если $p>0$, то энергия забирается из сети и запасается в магнитном поле; если $p<0$, то энергия возвращается в сеть.

Энергетический процесс оценивается амплитудой колебания мощности, которая обозначается Q_L и называется реактивной мощностью индуктивного элемента $Q_L = U_L I$, а с учетом того, что $U_L = X_L I$, $Q_L = X_L I^2$ ».

Аналогично в [9] показана реактивная мощность в идеальном емкостном элементе

$$\langle p = ui = \frac{1}{2} U_m I_m \left[\cos(-\frac{\pi}{2}) - \cos(2\omega t - \frac{\pi}{2}) \right] = -UI \sin 2\omega t \rangle.$$

И в данном случае указывается, что «активная мощность $P=0$, а амплитуда колебания мощности – реактивная емкостная мощность $Q_L = X_C I^2$ ».

Обратимся к Википедии [10] и позволим себе достаточно обширную цитату оттуда:

«Физический смысл реактивной мощности – это энергия, перекачиваемая от источника на реактивные элементы приёмника (индуктивности, конденсаторы, обмотки двигателей), а затем возвращаемая этими элементами обратно в источник в течение одного периода колебаний, отнесённая к этому периоду.

Когда устройство имеет положительную реактивную мощность, то принято говорить, что оно её потребляет, а когда отрицательную – то производит, но это чистая условность, связанная с тем, что большинство электропотребляющих устройств (например, асинхронные двигатели), а также чисто

активная нагрузка, подключаемая через трансформатор, являются активно-индуктивными.

Синхронные генераторы, установленные на электрических станциях, могут как производить, так и потреблять реактивную мощность в зависимости от величины тока возбуждения, протекающего в обмотке ротора генератора. За счёт этой особенности синхронных электрических машин осуществляется регулирование заданного уровня напряжения сети. Для устранения перегрузок и повышения коэффициента мощности электрических установок осуществляется компенсация реактивной мощности».

Из цитируемого участка можно сделать вывод, что реактивной мощности, соответствует энергия, которая идет от источника к потребителю и возвращается обратно, причем, процесс круговорота этой энергии протекает без рассеивания.

Обсуждая реактивную мощность, невозможно не сказать о полной мощности в цепи переменного тока, частью, которой реактивная мощность и является.

Под полной мощностью понимают произведение действующих (среднеквадратичных) значений тока и напряжения или квадратный корень из суммы квадратов активной и реактивной мощности, которое измеряется в вольт-амперах

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Снова обратимся к Википедии

«Полная мощность имеет практическое значение, как величина, описывающая нагрузки, фактически налагаемые потребителем на элементы подводящей электросети (провода, кабели, распределительные щиты, трансформаторы, линии электропередачи), так как эти нагрузки зависят от потребляемого тока, а не от фактически использованной потребителем энергии. Именно поэтому полная мощность трансформаторов и распределительных щитов измеряется в вольт-амперах, а не в ваттах».

Действительно, нагрузка на вторичной обмотке трансформатора может быть чисто активной, активно-индуктивной или активно-емкостной, а полная мощность показывает максимально возможное значение мощности устройства, определяемой номинальными значениями тока и напряжения, вне зависимости от характера нагрузки. Именно это плохо понимает широкая публика, в частности, самодеятельные физики и всякие «изобретатели вечных двигателей».

Теперь стоит обратиться и к зарубежным источникам. Начнем с наиболее авторитетного – Электронной [11], это своего рода стандарт от Европейской электротехнической комиссии (IEC – International Electrotechnical Commission).

Пункт 131-11-44 реактивная мощность (**reactive power**)

«for a linear two-terminal element or two-terminal circuit, under sinusoidal conditions, quantity equal to the product of the apparent power S and the sine of the displacement angle φ

$$Q = S \sin \varphi$$

Note 1 to entry: The reactive power is the imaginary part of the complex S

$$Q = ImS$$

Note 2 to entry: The coherent SI unit for reactive power is voltampere, VA. The special name var and its symbol var are also used.

Reactive power (Q) is the power consumed in an AC circuit because of the expansion and collapse of magnetic (inductive) and electrostatic (capacitive) fields. Reactive power is expressed in volt-amperes-reactive (VAR).

В этом определении ничего особо нового нет, но упоминается расширение (*expansion*) и схлопывание (*collapse*) магнитных и электростатических полей, и говорится только о потреблении реактивной энергии в цепях переменного тока (*Reactive power is the power consumed in an AC circuit*).

Пункт 601-01-20 посвящен реактивной энергии (**reactive energy**):

«in an AC system, the captive electrical energy exchanged continuously between the different electric and magnetic fields associated with the operation of the electrical system and of all the connected apparatus».

Что в переводе означает:

«в системе переменного тока захваченная электрическая энергия непрерывно обменивается между различными электрическими и магнитными полями, связанными с работой электрической системы и всех подключенных устройств».

Нельзя признать это определение удачным, особенно прилагательное *«captive»* в данном контексте.

Рассмотрим также учебник по электротехнике, выпущенный Министерством энергетики США [12]:

«Unlike true power, reactive power is not useful power because it is stored in the circuit itself. This power is stored by inductors, because they expand and collapse their magnetic fields in an attempt to keep current constant, and by capacitors, because they charge and discharge in an attempt to keep voltage constant. Circuit inductance and capacitance consume and give back reactive power. Reactive power is a function of a system's amperage. The power delivered to the inductance is stored in the magnetic field when the field is expanding and returned to the source when the field collapses. The power delivered to the capacitance is stored in the electrostatic field when the capacitor is charging and returned to the source when the capacitor discharges. None of the power delivered to the circuit by the source is consumed. It is all returned to the source. The true power, which is the power consumed, is thus zero. We know that alternating current constantly changes; thus, the cycle of expansion and collapse of the magnetic and electrostatic fields constantly occurs».

Перевод данного отрывка:

«В отличие от активной мощности, реактивная мощность не является полезной мощностью, потому что она запасается в самой цепи».

Эта энергия сохраняется в индукторах, потому что они расширяют и схлопывают свои магнитные поля, поддерживая неизменное значение тока, и конденсаторами, потому что они заряжаются и разряжаются, поддерживая неизменное значение напряжения. Индуктивность и емкость цепи по-

требляют и возвращают реактивную мощность. Реактивная мощность зависит от силы тока системы. Мощность, передаваемая индуктивности, сохраняется в магнитном поле, когда поле расширяется и возвращается к источнику, когда поле схлопывается. Мощность, подаваемая на емкость, сохраняется в электростатическом поле, когда конденсатор заряжается и возвращается к источнику, когда конденсатор разряжается. Эта мощность, подаваемая в цепь источником, не потребляется. Она вся возвращается к источнику. Таким образом, активная мощность, которая представляет собой потребляемую мощность, равна нулю. Мы знаем, что переменный ток постоянно меняется; таким образом, постоянно возникают циклы расширения и схлопывания магнитных и электростатических полей».

Здесь достаточно подробно рассказано о взаимосвязи энергии и магнитных и электрических полей.

Вывод. Исходя из анализа отечественных и зарубежных источников, нами предлагается такое определение реактивной мощности:

нерассеиваемая электрическая энергия переменного тока, которая возбуждает магнитные или электрические поля, соответственно в индуктивных и емкостных элементах и, поступающая от них обратно в сеть, называется реактивной мощностью.

Считаем, что данное определение наиболее компактно, при этом достаточно полно разъясняет физический смысл реактивной мощности.

Список літератури

- 1 Державний стандарт України. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. ДСТУ 2843-94.
- 2 К.А. Круг Основы электротехники в двух томах. Том второй. – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946.
- 3 В.С. Попов, Н.Н. Мансуров, С.А. Николаев Электротехника. – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1954.
- 4 Попов В.С. Теоретическая электротехника: Учебник для техникумов/ Под ред. Б.Я. Жуковичского. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 544 с.
- 5 Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч1. Линейные электрические цепи, – М.: Энергия, 1970.
- 6 Советский энциклопедический словарь. Издательство «Советская энциклопедия», 1981.
- 7 Общая электротехника: Учеб. пособие для вузов/ под ред. д-ра техн. наук А.Т. Блажжина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
- 8 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. Пособие для вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 440 с.
- 9 Милых В.И. Электрические цепи: Учебное пособие. – Харьков. НТУ «ХПИ», 2002. – 159 с.
- 10 https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрическая_мощность#Реактивная_мощность
- 11 <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=131-11-44>
- 12 The DOE Fundamentals Handbooks have been prepared for the Assistant Secretary for Nuclear Energy, Office of Nuclear Safety Policy and Standards, by the DOE Training Coordination Program. This program is managed by EG&G Idaho, Inc.1992.

References (transliterated)

- 1 DSTU 2843-94. Derzhavnyi standart Ukrainy. Elektrotekhnika. Osnovni poniattia. Terminy ta vyznachennia.

- 2 K.A. Kruh *Osnovy elektrotekhniki v dvukh tomakh. Tom vtoroi.* – M., L.: Gosudarstvennoe enerhetycheskoe izdatelstvo, 1946.
- 3 V.S. Popov, N.N. Mansurov, S.A. Nikolaev *Elektrotekhnika.* – M., L.: Gosudarstvennoe enerhetycheskoe izdatelstvo, 1954.
- 4 Popov V.S. *Teoreticheskaia elektrotekhnika: Uchebnyk dlia tekhnikumov / Pod red. B.Ia. Zhukovytskoho.* – 3-e yzd. – Moscow: Enerhoatomyzdat, 1990. – 544 p.
- 5 Atabekov H.Y. *Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki. Ch1. Lyneinye elektrycheskiye tsepy,* – Moscow: Enerhiya, 1970.
- 6 *Sovetskiyi entsyklopedicheski slovar. Yzdatelstvo «Sovetskaia entsyklopediya»,* 1981.
- 7 *Obshchaia elektrotekhnika: Ucheb. posobie dlia vuzov / pod red. d-ra tekhn. nauk A.T. Blazhkyna.*– 4-e yzd., pererab. y dop. – L.: Enerhoatomyzdat, 1986. – 592 p.
- 8 Kasatkyn A.S., Nemtsov M.V. *Elektrotekhnika: Ucheb. Posobie dlia vuzov - 4-e yzd., pererab. y dop.* – Moscow: Enerhoatomyzdat, 1983. – 440 p.
- 9 Milykh V.Y. *Elektrycheskiye tsepy: Uchebnoe posobie.* – Kharkov. NTU «KhPI», 2002. – 159 p.
- 10 https://ru.wikipedia.org/wiki/Elektrycheskaia_moshchnost#Reaktivnaia_moshchnost
- 11 <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=131-11-44>
- 12 The *DOE Fundamentals Handbooks* have been prepared for the Assistant Secretary for Nuclear Energy, Office of Nuclear Safety Policy and Standards, by the DOE Training Coordination Program. This program is managed by EG&G Idaho, Inc.1992.

Поступила (received) 20.05.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гончаров Євген Вікторович (Гончаров Евгений Викторович, Honcharov Yevgen Viktorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки; м. Харків; тел.: (057) 707-64-27.

Крюкова Наталія Валеріївна (Крюкова Наталья Валерьевна, Kruykova Nataliya Valeriivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки; м. Харків; тел.: (057) 707-64-27.

Марков Владислав Сергійович (Марков Владислав Сергеевич, Markov Vladislav Sergeevych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної електротехніки, тел.: (057) 707-64-27.

Поляков Ігор Володимирович (Поляков Игорь Владимирович, Polyakov Igor Vladimirovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної електротехніки, тел.: (057) 707-64-27.