



## МЕТОД ТЕМАТИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ПЕРЕМАННЫХ ЦЕПЕЙ

Сирожиддин Зайнобиддинов

Андижан государственный университет

Бехзод Кучкаров, Тўлқинов Муҳаммад Али Эркинжон Ўзгли

Наманганский инженерно-технологический институт  
Ассистент кафедры  
энергетики

**Аннотация:** В данной статье освещаются тема «Соединение трехфазных электрических цепей в звезду и треугольник» которая является междисциплинарной и взаимосвязанной схемотехникой имеющий общие закономерности, особенности и вопросы формирования теоретических и практических знаний.

**Ключевые слова:** Линейные и фазные токи, линейные и фазные напряжения, соединения треугольником и звездой, приборы измерений, нулевой провод, источник тока.

Тема «Соединение звездой и треугольником трехфазных электрических цепей», преподаваемая студентам высших учебных заведений в области теоретической электротехники, неразрывно связана с темой «Соединение звездой и треугольником трехфазных электрических машин» в области теоретической электротехники. в электротехнике рассматривается треугольное соединение с использованием трех резисторов.

При подключении потребителей по схеме «звезда» трехфазная система может быть трехпроводной или четырехпроводной. При таком способе подключения электрические резисторы или однофазные потребители мощности включаются между каждым линейным проводом и нулевым проводом. При таком подключении потребителей токи в линейных проводах равны токам в соответствующих фазах источника, то есть:

$$I_L = I_f$$

При соединении звездой в фазных сопротивлениях потребителей появляются фазные токи  $I_A$ ,  $I_B$ , и  $I_C$ , значения которых находятся в прямой зависимости от величины сопротивлений  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  соответственно. Потому что в общих случаях сопротивления фаз могут не совпадать по модулям и аргументам. В этом случае векторные значения соответствующих фазных токов имеют следующий вид [1].

$$\vec{I}_A = \frac{\vec{U}_A}{Z_A} = \frac{U_f}{Z_A} * e^{-j\varphi_1} = I_A * e^{-j\varphi_A} \quad (1)$$

$$\vec{I}_B = \frac{\vec{U}_B}{Z_B} = I_B * e^{-j\frac{2\pi}{3} - j\varphi_2} = I_B * e^{-j(\frac{2\pi}{3} + \varphi_B)} \quad (2)$$

$$\vec{I}_C = \frac{\vec{U}_C}{Z_C} = I_C * e^{-j(\frac{4\pi}{3} + \varphi_C)} \quad (3)$$

Сумма этих токов образует ток  $I_0$ , протекающий по нейтральному проводу. Векторная диаграмма токов и напряжений для симметричной нагрузки со звездой, соединенной по фазам, представлена на рисунке 1а. Согласно векторной диаграмме направление и модуль вектора тока  $I_0$  на нулевом проводе зависят от характера и величины токов в каждой фазе.

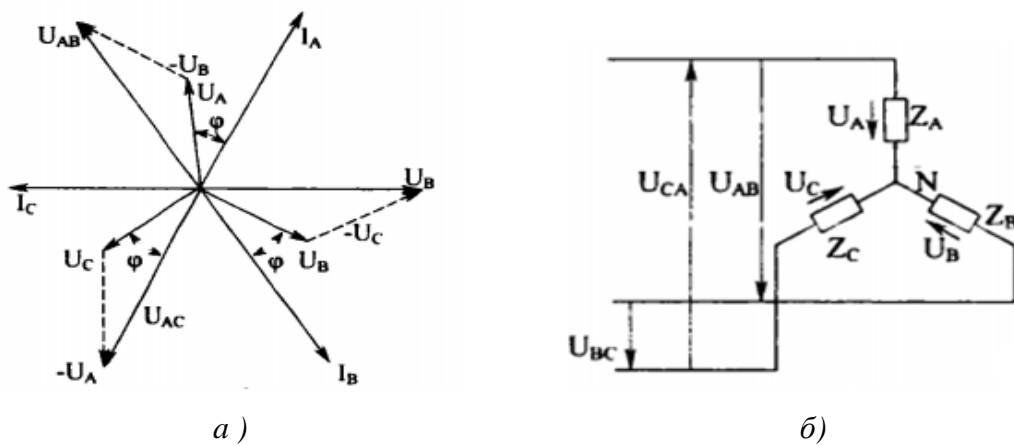


Схема 1. Векторная диаграмма токов и напряжений

Если резисторы, нагруженные на каждую фазу  $Z_A, Z_B, Z_C$ , количественно неоднородны и имеют одинаковый характер, то видно, что модуль тока в нейтральной части (проводнике) всегда наибольший, но меньший, чем в фазе текущий. Эта особенность чаще всего используется на практике для передачи трехфазного тока по четырехпроводной сети. Поэтому в целях экономии цветных металлов можно диаметр нулевой жилы сделать несколько меньше, чем у фазных (линейных) жил.

Если нагрузки существенно отличаются друг от друга по фазе, то величина тока в нейтральном проводнике теоретически может достигать своего максимального значения, но может даже превышать величину максимального фазного тока, в результате чего нарушается симметрия фаз и устройство выходит из строя. При симметричной фазной нагрузке ( $Z_A=Z_B=Z_C=Z_{yuk}$ ), фазные токи образуют трехфазную симметричную систему векторов тока, т. е. имеют следующий вид [2]

$$\vec{I}_A = \frac{\vec{U}_A}{Z_{yuk}} = \frac{U_f}{Z_{yuk}} * e^{-j\varphi_1} = I_f * e^{-j\varphi_{yuk}} \quad (4)$$

$$\vec{I}_B = \frac{\vec{U}_B}{Z_{yuk}} = I_f * e^{-j\frac{2\pi}{3}-j\varphi_2} = I_f * e^{-j(\frac{2\pi}{3}+\varphi_{yuk})} \quad (5)$$

$$\vec{I}_C = \frac{\vec{U}_C}{Z_{yuk}} = I_f * e^{-j(\frac{4\pi}{3}+\varphi_{yuk})} \quad (6)$$

При соединении трехфазных потребителей по схеме «звезда» фазное напряжение количественно отличается  $\sqrt{3}$  от линейного напряжения. Это различие можно увидеть на следующей топографической схеме симметричной системы. CNM можно определить  $U_{BC} = \sqrt{3} * U_C$  также  $U_L = \sqrt{3} * U_f$  из прямоугольного треугольника

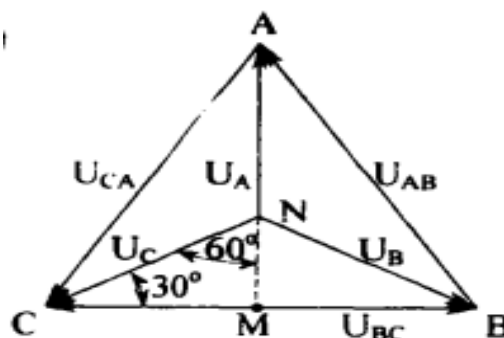


Схема 2. Диаграмма зависимости между линейным и фазным напряжениями

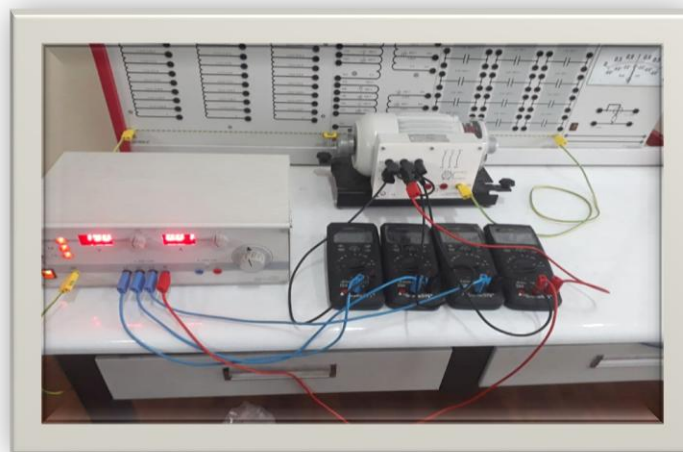


На векторной диаграмме, построенной для этого случая, сумма фазных токов равна нулю, а ток в нулевом проводнике не равен  $I_0$ . Это позволяет снабжать эти трехфазные группы потребителей электроэнергией только по трехпроводным линиям электропередачи, экономя одну линию в трехпроводной системе. К группе трехфазных симметричных потребителей относятся наиболее распространенные на практике трехфазные асинхронные двигатели, мощные (силовые) трансформаторы, электропечи, выпрямители, преобразующие переменный ток в постоянный, и другие.

Студентам объясняют трехфазную цепь через три резистора, а подключение электродвигателя в режиме звезды объясняют на стенде с помощью следующей схемы.



**Схема 3.** Схема звездообразного соединения трехфазных электрических цепей через простые резисторы.



**Схема 4.** Схема пуска трехфазной электрической машины соединением звездой.

При соединении трехфазных потребителей по треугольной схеме начало и конец фазных резисторов присоединяют к соответствующим частям линейных проводов, идущих от трехфазного источника, соответственно. Если рассматривать источник как генератор переменного тока, то независимо от способа соединения катушек генератора потребитель создает только систему линейных напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$ . Эти напряжения являются фазой трехфазной нагрузки одновременно



также рассчитываются напряжения. Если не учитывать электродвижущую силу (ЭДС) и линейные провода, то симметрия линейных (фазных) напряжений сохраняется при любом значении сопротивления нагрузки ( $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA} \neq 0$ ). Несимметричность нагрузок (сопротивлений) на фазах трехфазных потребителей приводит к различной мощности нагрузок некоторых фаз генератора. Еще одним преимуществом подключения потребителей методом треугольника является то, что потребитель подключается к источнику только тремя проводами ЭДС следующие

$$\vec{E}_A = E_{Am}, \vec{E}_B = E_{Bm} * e^{-j\frac{2\pi}{3}}, \vec{E}_C = E_{Cm} * e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

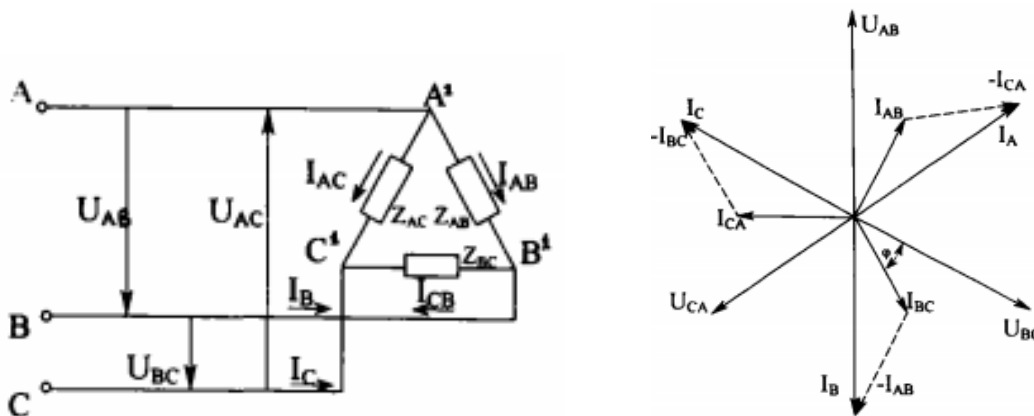
Способ подключения катушки генератора зависит от номинального напряжения фазных резисторов потребителей. Если да, то фаза генератора подключается в виде звезды.

Если фазное напряжение трехфазного потребителя равно фазе ЭДС равно, т. е.  $U_{\text{ном}} = E_f$ , то фазы генератора соединены треугольной формы.

В треугольных потребителях также формируются следующие векторы напряжения.

$$\vec{U}_A = U_L = U_f \vec{U}_B = U_f * e^{-j\frac{2\pi}{3}}, \vec{U}_C = U_f * e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

Эти векторы образуют равносторонний треугольник следующим образом.



**Схема 5.** Векторная диаграмма токов и напряжений для треугольной цепи

По схеме подключения цепи потребители  $\vec{I}_{AB}, \vec{I}_{BC}, \vec{I}_{CA}$  фазные токи по первому закону Кирхгофа, в линейных проводах  $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$  Линия подключается к токам следующим образом. [3]

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}, \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC} \quad (9)$$

Так, Векторы линейных токов равны разности соответствующих векторов фазных токов.

При соединении трехфазных цепей в треугольник линейное и фазное напряжения равны, а линейный и фазный токи отличаются по величине друг от друга  $\sqrt{3}$ , и эту разницу мы можем увидеть следующим образом.

Если предположить, что фазные нагрузки одинаковы, то фазные и линейные провода образуют трехфазную симметричную систему. По векторной диаграмме, показанной на рис. 6, можно найти взаимосвязь между линейным и фазным токами.

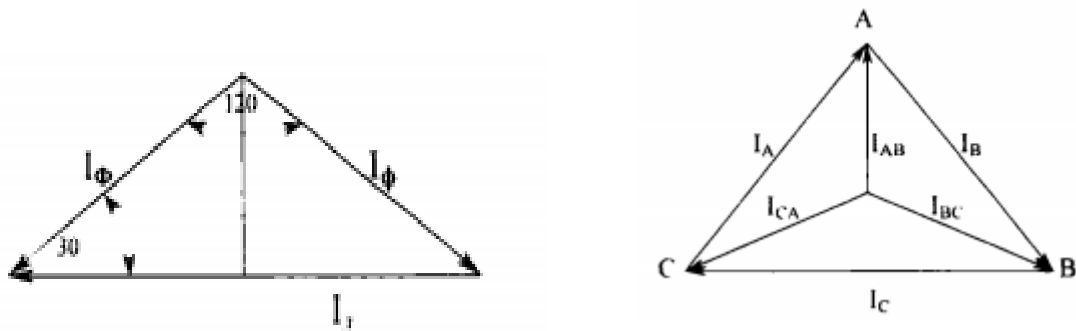


Схема 6. Диаграмма зависимости между линейным и фазным напряжениями

$$\frac{1}{2} * I_L = I_f * \cos 30^0 = I_f * \frac{\sqrt{3}}{2}; \text{ так } I_L = I_f * \sqrt{3} \text{ возникает}$$

При нахождении трехфазной системы в состоянии симметричной нагрузки на фазы фазные токи  $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$  отличаются друг от друга по количеству и фазе и определяются отдельно для каждой фазы.

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{U}_{AB}}{Z_{AB}}, \vec{I}_{BC} = \frac{\vec{U}_{BC}}{Z_{BC}} \text{ va } \vec{I}_{CA} = \frac{\vec{U}_{CA}}{Z_{CA}}; (10)$$

Если сопротивление каждой фазы потребителя одинаково  $Z_{yuk} = Z_{yuk} * e^{j\varphi_{yuk}}$ , то фазные токи равны между собой:

$$\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BC} = \vec{I}_{CA} (11)$$

Векторы указанных выше фазных токов, в свою очередь, образуют симметричную систему.

$$\vec{I}_{AB} = I_f * e^{-j\varphi_{yuk}}; \vec{I}_{BC} = I_f * e^{-j(\varphi_{yuk} + \frac{2\pi}{3})}; \vec{I}_{CA} = I_f * e^{-j(\varphi_{yuk} - \frac{2\pi}{3})}$$

Соответственно при симметричной нагрузке токи в линейных проводах количественно равны, их векторы смещаются на угол  $2\pi/3$  относительно друг друга по фазе, а величина линейного тока во много раз превышает фазный ток:  $I_L = \sqrt{3} * I_f$ , но в то же время мы видим, что  $U_L = U_f$ .

Трехфазную электрическую цепь через три резистора и подключение электродвигателя треугольным образом на обозначенном стенде учащимся объясняют по следующей схеме.

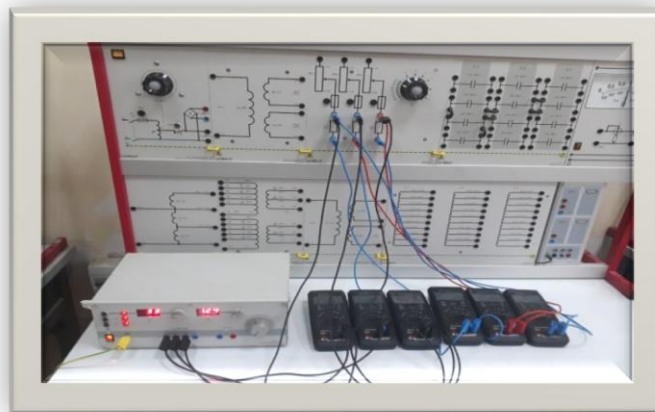
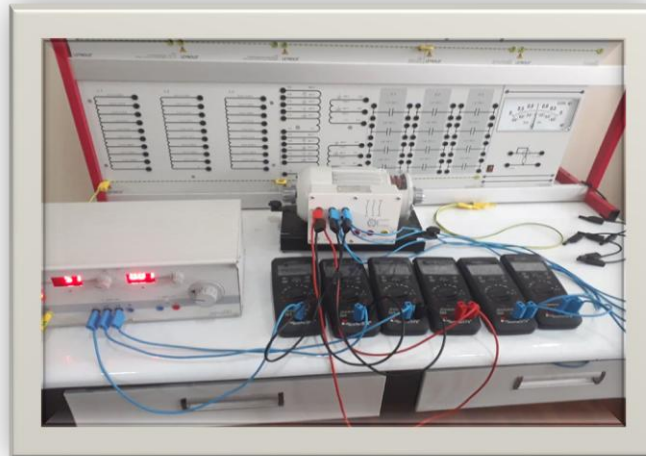


Схема 7. Принципиальная схема треугольного соединения трехфазных электрических цепей через простые резисторы.



**Схема 8.** Схема пуска трехфазной электрической машины посредством треугольного соединения.

Рассмотрим процесс подключения трехфазных электрических машин к сети в виде звезд и треугольников. Приведенные выше формулы и схемы подходят для изменения токов и напряжений в соединениях звездой и треугольником электрических машин этого типа.

При пуске трехфазных электрических машин требуется, чтобы величина пускового тока не превышала мощности сети. В противном случае падение напряжения будет значительным, что может привести к отключению других электрических машин, подключенных к сети. Для предотвращения этого необходимо уменьшить напряжение, подаваемое на статор, для уменьшения пускового тока при пуске мощных электрических машин. Уменьшить пусковой ток электрических машин можно следующими способами:

- a) Плавным пуском (постепенным повышением напряжения электрической машины до заданного значения);
- b) пуск от реактора, автотрансформатора или активного резистора;
- c) Начните с переключения со звезды на треугольник:

Одним из наиболее распространенных способов является подключение электрических машин напрямую к сети. В этом методе амперметр, подключенный к статору электрической машины, выбирается  $5 \div 7$  умноженным на номинальный ток. При уменьшении напряжения, подаваемого на обмотку статора, и уменьшении пускового тока момент электрической машины уменьшается пропорционально квадрату напряжения. Такие способы применяются только при пуске электрической машины в холостом режиме или с малыми нагрузками [4].

При нормальной работе, если электрическая машина включена по треугольной схеме и рассчитана на пуск с малой нагрузкой, то пуск такой электрической машины возможен подключением статора по схеме звезда. По окончании процесса пуска статор электромобиля переключается на треугольную схему. Таким образом, при запуске электрических машин мы можем видеть, что связи между линейным и фазным токами следующие.

На схеме звезды ток, протекающий по обмоткам электрической машины, которая запускается тем, что линейный ток равен фазному, выглядит следующим образом.

$$I_L^Y = I_f^Y = \frac{U_f}{Z} = \frac{U_L}{\sqrt{3} * Z} \quad (13)$$



В треугольной схеме, так как линейный ток находится между фазным током и фазным током, ток, протекающий через обмотку пусковой электрической машины, выглядит следующим образом.

$$I_L^{\Delta} = \sqrt{3} * I_f^{\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_f}{Z} = \sqrt{3} \frac{U_L}{Z} (14)$$

Таким образом, из приведенных формул видно, что пуск электрической машины по схеме звезда в два раза меньше, чем пуск ее по  $\sqrt{3}$  треугольной схеме. Поэтому пуск электрических машин осуществляется переключением со схемы, соединенной звездой, на схему, соединенную треугольником.

При междисциплинарном обучении трехфазным электрическим цепям могут быть использованы следующие методы.

#### **Метод «цепочка».**

Этот метод основан на логической последовательности, и вопросы дополняют друг друга по мере перехода от простого к сложному. В результате возникают проблемные ситуации. Все это приучает студентов к самостоятельному мышлению и обеспечивает обратную связь во время урока, что, в свою очередь, способствует лучшему усвоению темы студентами. У Проварда при использовании этого метода на занятиях устанавливаются дружеские отношения на основе консенсуса.[5]

#### **Метод «сравнения».**

Применение этого метода сравнения к учебному процессу позволяет преподавать предмет, связывая его с предметом, который является частью предмета или близок к нему и имеет родственные стороны. Метод сравнения более эффективен при обучении студентов теме, что позволяет формировать учение, знания и умения на основе информации из других тем и смежных дисциплин. [6] Одним из преимуществ этого метода является то, что учащиеся могут закрепить свои предыдущие знания, используя метод сравнения. Метод сравнения в данной статье можно использовать для организации учебного процесса для студентов, показывая взаимозависимость трехфазных электрических цепей с помощью следующих схем 3-4 и 7-8 соединения треугольников и звезд.

**Вывод:** В данной статье тема соединения звездой и треугольником трехфазных электрических цепей может быть использована в ходе междисциплинарного обучения электрических машин на тему соединения треугольником и звездой, основных законов соединения треугольником и звездой, вектора схемы, приемы и связи в двух направлениях были собраны и рассмотрены с помощью специального стенда, который предназначен для повышения скорости усвоения учащимися в результате обучения теме в такой последовательности.

#### **Использованная литература:**

1. A. Xonboboyev, N. Xalilov. "Umumiy elektrotexnika va elektronika asoslari" Darslik. T.: O`zbekiston nashriyoti 2000 y
2. A.S.Karimov, M.Ibadullayev, B.Abdullayev. "Elektrotexnikaning nazariy asoslari" Darslik. T.: Fan va texnologiya nashriyoti 2017 y.
3. S.F.Amirov, M.S.Yoqubov, N.G`.Jabborov "Elektrotexnikaning nazariy asoslari" o`quv qo`llanma. Toshkent 2007 y.
4. J.S.Salimov, N.B.Pirmatov. "Elektr mashinalari" Darslik. O`zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti 2011 y.



5. H.T.Omonov, N.X.Xo`jayev, S.A.Madyarova, E.U.Eshchonov. "Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat" T.: Iqtisod-moliya 2009 y.
6. Z.D Rasulova "Texnologiya fanini o`qitishda innovatsion pedagogik texnologiyalar" O`quv – metodik majmua 2020 y.
7. Kuchkarov B., Mamatkarimov O., Abdulkhayev A. (2020). ICECAE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 012027 "Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor", Paper ID 116.
8. Qo`chqarov B.X., Nishonov A., Qo`chqarov X.O. (2020). Scientific bulletin of Namangan State University, "The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge carriers", 1(7), 3-6.
9. Vlasov, S.I, Nazirov, D.N, Kuchkarov B.K., Bobokhujayev, K.U., (2014). Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure. "UzbekistonFizikaJurnali", 3(16), 231-233.
10. Kuchkarov, B. K., Mamatkarimov, O.O., (2019). Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures. "Vestnik KRAUNC. Fiziko-MatematicheskieNauki", 4(29), 125-134.
11. Vlasov S.I., Ovsyannikov A.V., Ismailov B.K., Kuchkarov B.H. (2012). Effect of pressure on the properties of Al-SiO<sub>2</sub>-n-Si<Ni> structures. "Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics", 2(15), 166-169.