

УДК 621.31.031

**ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ****МИРОНОВ Р.Г.***АзНИИ Энергетики и Энергопроектирования*

В статье рассматривается влияние на качество напряжения несимметрии нагрузки, обусловленной переходными и пусковыми токами однофазных потребителей, в частности, снабженных терморегуляторами. Показано, что броски токов при кратковременных подключениях потребителей могут быть причиной скачков напряжения в сетях с повышенным сопротивлением нулевого провода.

Основной точкой контроля качества напряжения является точка присоединения абонента к сети 0,4 кВ, отклонение напряжения в которой должно быть в пределах – 2,5% +5% и не более  $\pm 10\%$  в послеаварийных режимах. Повышение тарифов на электроэнергию, приведение их к мировым ценам, вызывает ответное требование потребителя к качеству электроэнергии. Широкое распространение современной телекоммуникационной, офисной и бытовой техники с повышенными требованиями к качеству электроэнергии выдвигает новую проблему – обеспечение работоспособности сложных технических устройств. В то же время, частные попытки повышения качества электроэнергии с помощью стабилизаторов, вольтодобавочных трансформаторов, защитных устройств вносят еще больший диссонанс в качество напряжения в сети в целом и совместную работу электроприемников и регулирующих устройств. При этом главной причиной низкого качества напряжения являются глубокие сезонные колебания нагрузки системы ограниченной мощности. Свое влияние на качество напряжения на уровне 0,4 кВ вносит и потребитель электроэнергии.

Рассмотрим влияние несимметрии нагрузки кабельных и воздушных линий 0,4 кВ на качество напряжения.

**Кабельные линии.** Выбираемые по условиям нагрева, имеют большее сечение и меньшие плотности тока, по сравнению с воздушными линиями. Практически не имеют промежуточных присоединений по длине линии. Переходные контактные сопротивления – низкие. Нулевой провод по сечению меньше фазного, либо в качестве нуля используется оболочка кабеля. Нулевой провод соединяется с «землей» у трансформатора и в конце линии у распределительного щита. Последнее заземление обычно неэффективное.

**Воздушные линии.** Провода имеют малое сечение, как правило  $3 \times 50 \text{ мм}^2$ , что обуславливает большие плотности тока. Большое число промежуточных присоединений по длине линии с высокими контактными сопротивлениями. Нулевой провод такого же сечения, что и фазный. Промежуточных точек заземления нулевого провода по длине и в конце линии обычно не имеется.

В соответствии с ПУЭ, нулевой провод должен заземляться в ТП и на вводном щите у потребителя. Последнее заземление, как правило, бывает некачественным.

Схема замещения воздушной линии с промежуточным отбором мощности представлена на рис. 1.

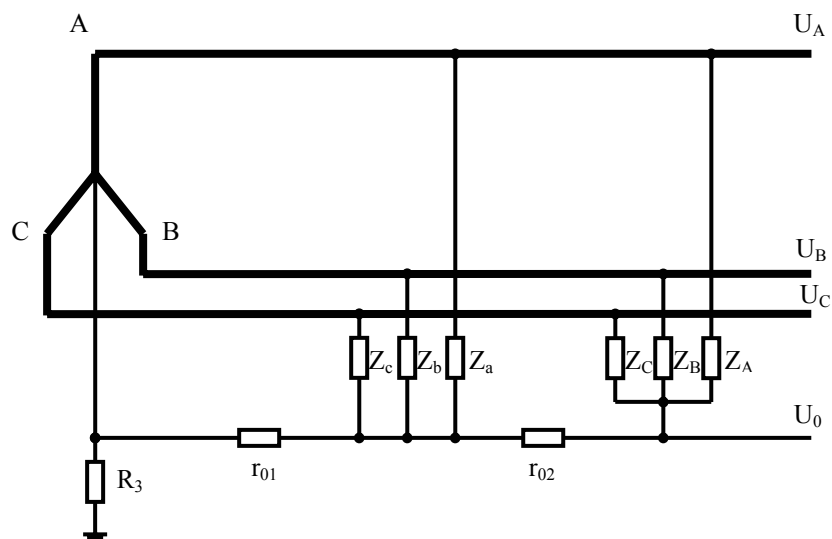


Рис.1

Обычно несимметрию нагрузки связывают лишь с дополнительными потерями электроэнергии. Например, в [1] при исследовании влияния несимметрии нагрузки на качество напряжения принималось, что все расчетные нагрузки – симметричные, либо должны выравниваться в процессе эксплуатации. Предполагалось, что несимметрия нагрузки фидеров находится в пределах 10-15% при допустимой величине несимметрии – 10%.

Несимметрию нагрузки можно определить непосредственными замерами фазных токов в фидерах. При известных токах коэффициент несимметрии определяется выражением:

$$K_{\text{н}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{cp}} + I_{\text{min}}} * 100\% .$$

Фактические замеры токов нагрузки 645 фидеров в районах Азербайджана дают среднюю несимметрию нагрузки 30,5 %, при средней величине токов - 110 А. Несимметрия нагрузки трансформаторов, по данным 150 измерений, меньше – 10,5%, средняя величина их токов нагрузки – 578 А. Несимметрия нагрузки трансформаторов обуславливает ток несимметрии в нейтрали трансформатора и сопротивлении заземления  $R_3$  и, как следствие, несимметрию фазных напряжений трансформатора на его выводах. Средняя величина несимметрии последних невелика – 1,25 %, но при  $\sigma=0,85\%$  в отдельных ТП может быть существенной.

На рис.2,3 представлены кривые распределения вероятностей коэффициентов несимметрии напряжений, нагрузки фидеров и трансформаторов, а также токов их нагрузки. Как видно, фактические значения их равны или превышают предельные по [1] (Известны, например, случаи протекания в нулевом проводе длительных токов 350 А, при несимметричной нагрузке фаз до 450 А.). В действительности проблема глубже, так как замеры производятся в стационарных режимах и не учитывают динамические режимы современной бытовой нагрузки – пусковых токов холодильников, кондиционеров и других многочисленных устройств с дискретным режимом работы – рис.4.

Замеры напряжений – рис.5-7, и токов – рис.8-10, современной нагрузки с помощью компьютерных измерительных приборов показывают еще большую степень несимметрии, обусловленную динамическими режимами токов нагрузки – рис.8-10. В соответствии с изменениями токов нагрузки изменяются и падения напряжения в подводящих фазных проводах и нулевом проводе, в последнем – тем больше, чем больше несимметрия фазных токов. Колебания напряжения  $U_{\text{max}}-U_{\text{min}}$  на каждой из фаз, обусловленные колебаниями токов нагрузки соответствующих фаз, представлены на рис.5-7.

В соответствии со схемой рис.1, напряжение у потребителя в конце линии равно разности фазного напряжения и напряжения на нейтрали:

$$U := U_j - U_N$$

Несимметрия токов нагрузки, при отсутствии фиксации потенциала нейтрали у потребителя посредством эффективного заземления, создает смещение потенциала нейтрали:

$$U_N := U_0 + \Delta U_0 + \Delta U_0(t)$$

где

$$U_0 := \sum_{j=1}^3 U_j \cdot \sin \left[ \omega \cdot t + (j-1) \frac{2\pi}{3} \right]$$

-смещение потенциала нейтрали, обусловленное несимметрией фазных напряжений на выводах трансформатора,

$$\Delta U_0 := R_0 \cdot I + L_0 \cdot \frac{d}{dt} I$$

-смещение потенциала нейтрали за счет падения напряжения на сопротивлении  $R_0$ ,  $L_0$  в нулевом проводе токов несимметрии  $I$  нагрузки отдельных фаз:

$$I := \sum_{j=1}^3 I_j \cdot \sin \left[ \omega \cdot t + \phi_j + (j-1) \frac{2\pi}{3} \right]$$

$$\Delta U_0(t) := R_0 \cdot I(t) + L_0 \cdot \frac{d}{dt} I(t)$$

-смещение потенциала нейтрали за счет падения напряжения на сопротивлении нулевого провода переходных  $I(t)$  токов включения и переключения нагрузки отдельных фаз:

$$\begin{aligned} I(t) := & \sum_{k=1}^{N_1} \eta(t) \cdot I_{1k} \cdot e^{-\delta_1 \cdot (t_k - t)} \cdot \sin \left[ \beta_1 \cdot (t_k - t) \right] + \\ & + \sum_{m=1}^{N_2} \theta(t) \cdot I_{2m} \cdot e^{-\delta_2 \cdot (t_m - t)} \cdot \sin \left[ \beta_2 \cdot (t_m - t) \right] + \\ & + \sum_{n=1}^{N_3} \zeta(t) \cdot I_{3n} \cdot e^{-\delta_3 \cdot (t_n - t)} \cdot \sin \left[ \beta_3 \cdot (t_n - t) \right] \end{aligned}$$

Здесь:

$$\eta(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < t_k \\ 1 & \text{if } t \geq t_k \end{cases} \quad \theta(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < t_m \\ 1 & \text{if } t \geq t_m \end{cases} \quad \zeta(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < t_n \\ 1 & \text{if } t \geq t_n \end{cases}$$

Таким образом, напряжение на нулевом проводе, относительно которого определяется фазное напряжение у потребителя, состоит из трех составляющих, первая из которых обусловлена несимметрией напряжений трансформатора, вторая – несимметрией нагрузки фидеров, третья – несимметрией динамических режимов нагрузки от-

дельных фаз. Последняя составляющая объясняет большое число кратковременных скачков напряжения, проявляющихся наиболее часто, например, в летнее время при работе кондиционеров. Сопоставление диаграмм фазных напряжений и токов нагрузки соответствующих фаз – рис.5-10, показывает, что большие колебания напряжения ( $U_{\max} - U_{\min}$ ) в интервале регистрации имеют место даже на тех фазах, где броски токов минимальны (смотри, например, напряжения и токи 3-ей фазы, которые можно объяснить только колебаниями потенциала нейтрали из-за бросков токов на 1-й и 2-й фазах).

В [1] указывается, что качество напряжения будет низким, если смещение потенциала нулевого провода будет превышать 2 % номинального напряжения. Соответствующими измерениями были произведены оценки фактического смещения потенциала нулевого провода относительно потенциала эффективного заземления, т.е. нуля. Результаты представлены на рис.12. Как видно, в период максимальной нагрузки, т.е. в  $20^{00}$ - $21^{00}$ , напряжение на нулевом проводе достигает 23 В, т.е. превышает 10% номинального напряжения. (Максимум обусловлен несимметрией стационарной нагрузки, размах колебаний за интервал регистрации – несимметрией пусковых токов). Соответственно снижается и напряжение у потребителя  $U_J-U_N$ , которое оказывается ниже, чем  $U_J-0$ , рис.11.

Наиболее чувствительными к качеству напряжения являются предприятия временной связи. Однако, режим их нагрузки отличается характерной динамической несимметрией – рис.13. При электроснабжении этих предприятий традиционными средствами, естественно, нельзя обеспечить высокое качество напряжения.

## ВЫВОДЫ

Приведены результаты оценки фактической несимметрии фидеров 0,4 кВ и трансформаторов. С помощью автоматической регистрации выявлена динамическая несимметрия нагрузки, обусловленная пусковыми токами устройств с дискретным режимом работы. Показано влияние несимметрии на смещение потенциала нулевого провода и нестабильность фазных напряжений. Для повышения качества напряжения рекомендуется снижать потенциал нулевого провода путем снижения его сопротивления и дополнительного заземления.

---

1.Маркушевич Н.С., Солдаткина Л.А. Качество напряжения в городских электрических сетях. М. Энергия, 1975.

2.Пелисье Р. Энергетические системы. М. Высшая школа, 1982.

3.Влияние электроустановок на окружающую среду. Доклады СИГРЭ-84. М. Энергоатомиздат. 1986.

## QEYRİ SİMMETRİK YÜKLƏNMƏNİN QƏRQİNLİYİN KEYFİYYƏTİNƏ TƏSİRİ

### MIRONOV R.G.

Transformatorların və 0,4 kV fiderlərin faktiki qeyri – simmetrik nəticələrinin qiymətləndirilməsinə baxılmışdır. Avtomatik qeydedicinin köməyi ilə diskret iş rejimli qurğuların iş buraxma cərəyanının təsirindən yükün dinamik qeyri – simmetrikliyi aşkar edilmişdir. Qeyri simmetrikliyin sıfır məftilin potensialının yerinin dəyişməsinə və fazların gərginliklərinin qeyri – stabilliyinə təsiri göstərilmişdir. Gərginliyin keyfiyyətini yüksəltmək üçün sıfır potensialı məftilin müqavimətinin azalması və torpaqlayıcının qoyulması təklif olunur.

## **MIRONOV R.G.**

It has been produced results of rating real asymmetry of feeders 0.4 kV and transformers. Dynamics asymmetry of load has been revealed with helping automatic regression conditioned by starting current. It has been shown influence of asymmetry shifting into of zero potential wire and instability phase voltages. For rising of voltage quality recommended lowering potential zero wire by lowering its resistance and additional grounding.

Рис.8. Токи 1-й фазы.

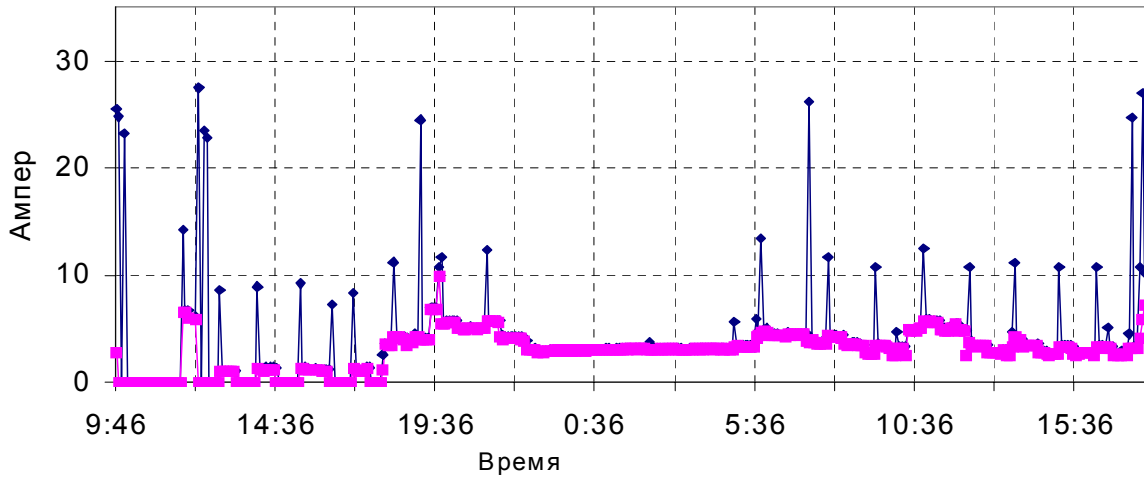


Рис.9. Токи 2-й фазы.

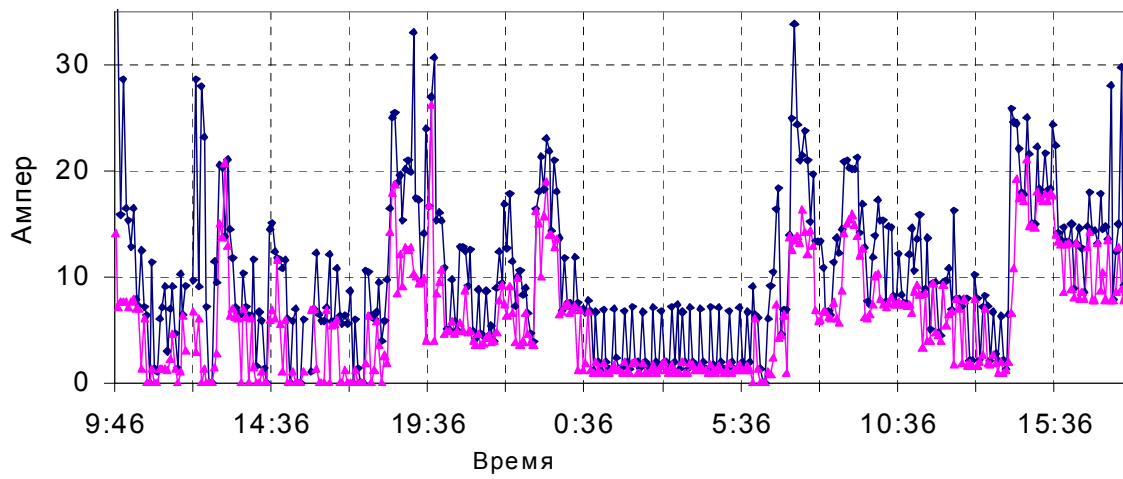


Рис.10. Токи 3-й фазы.

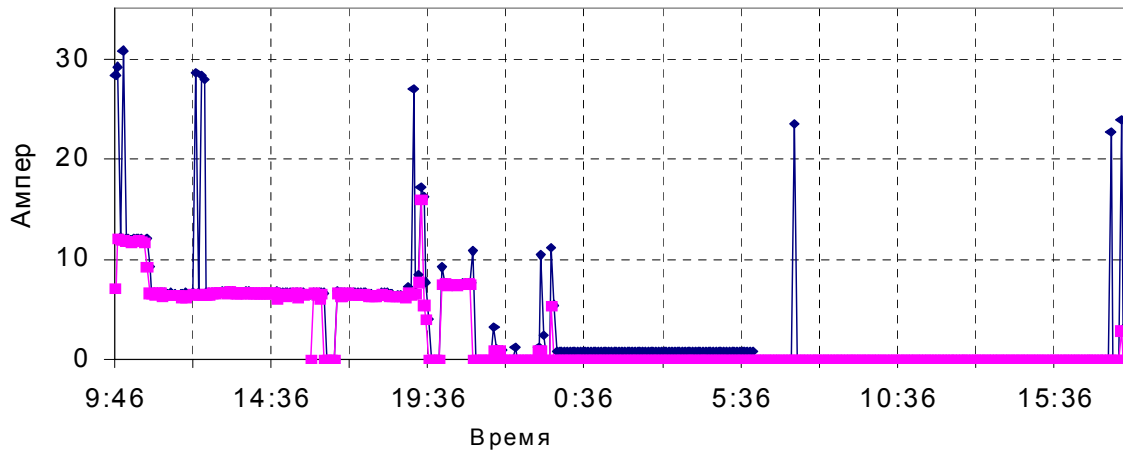


Рис.2. Распределение несимметричного напряжения, нагрузок фидеров и трансформаторов

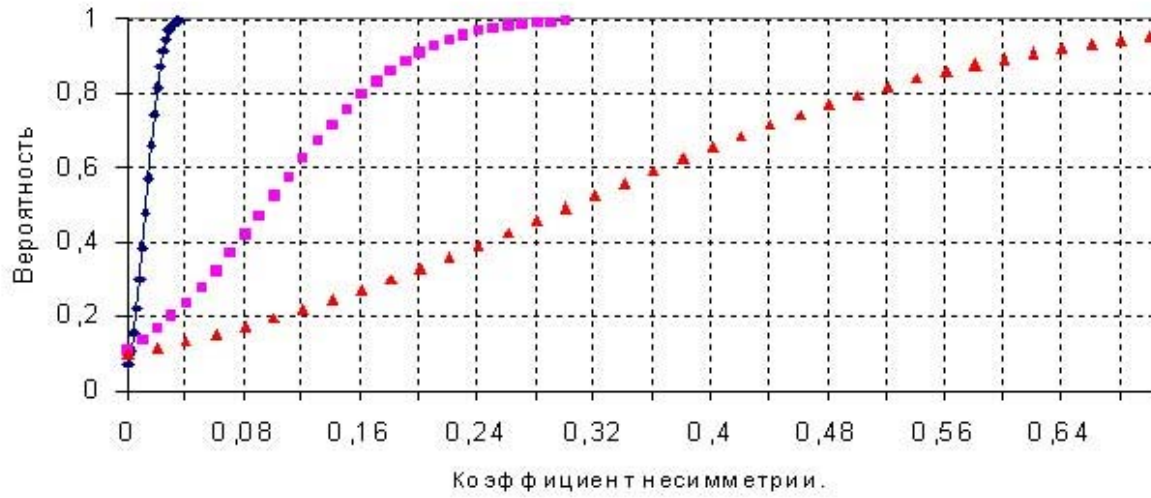


Рис.3. Распределение вероятностей токов фидеров 0,4 кВ и тр-ров.

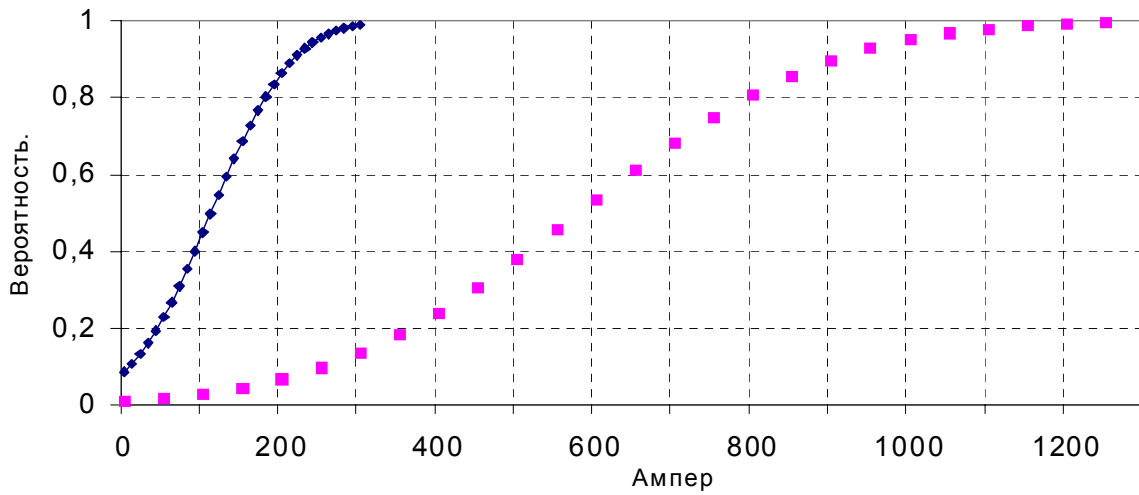


Рис.4. Суточный график токов жилой квартиры.

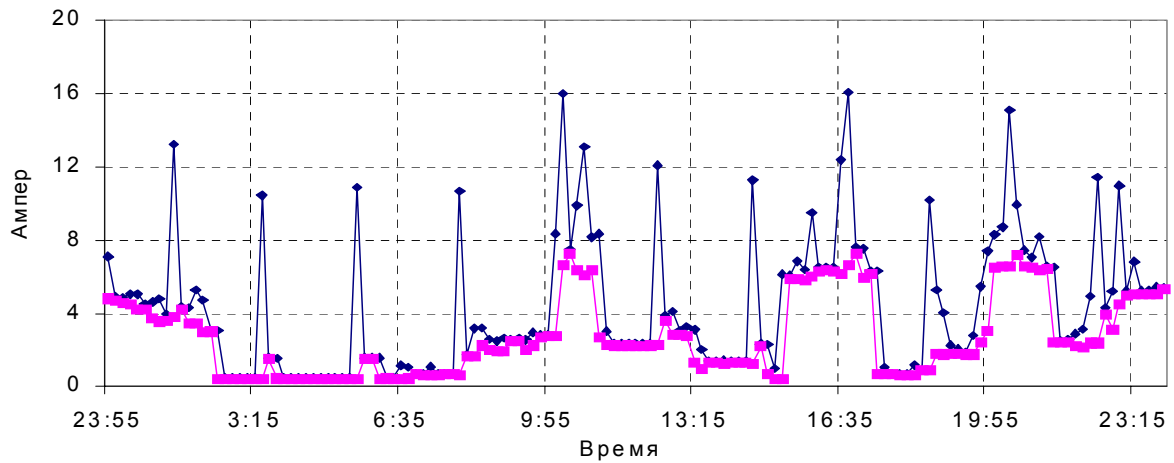


Рис.5. Напряжение на 1-й фазе.

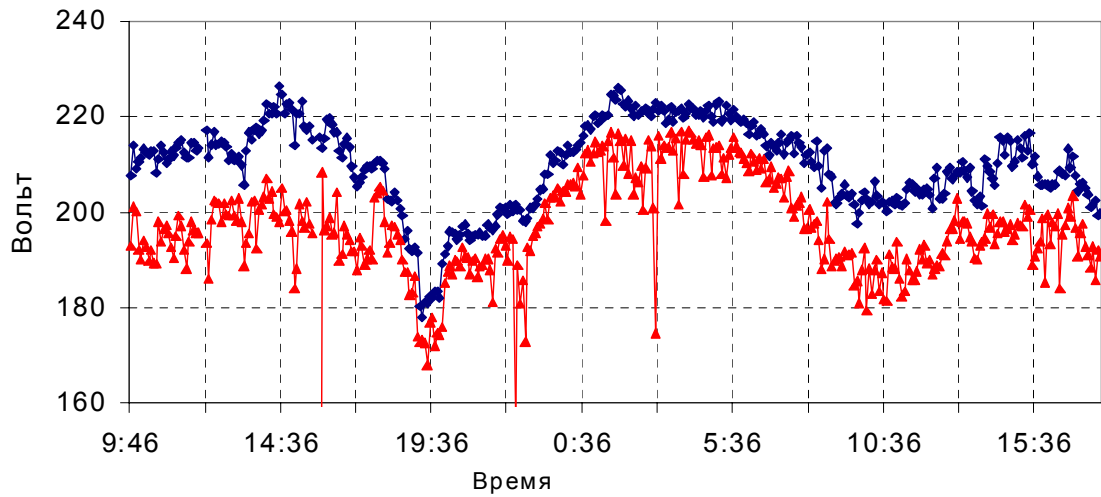


Рис.6. Напряжение на 2-й фазе.

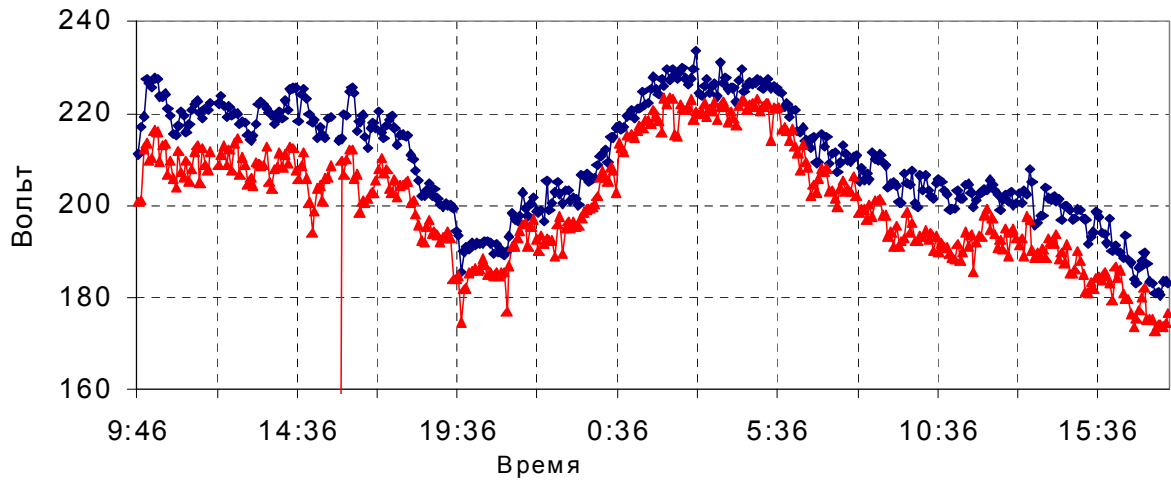


Рис.7. Напряжение на 3-й фазе.

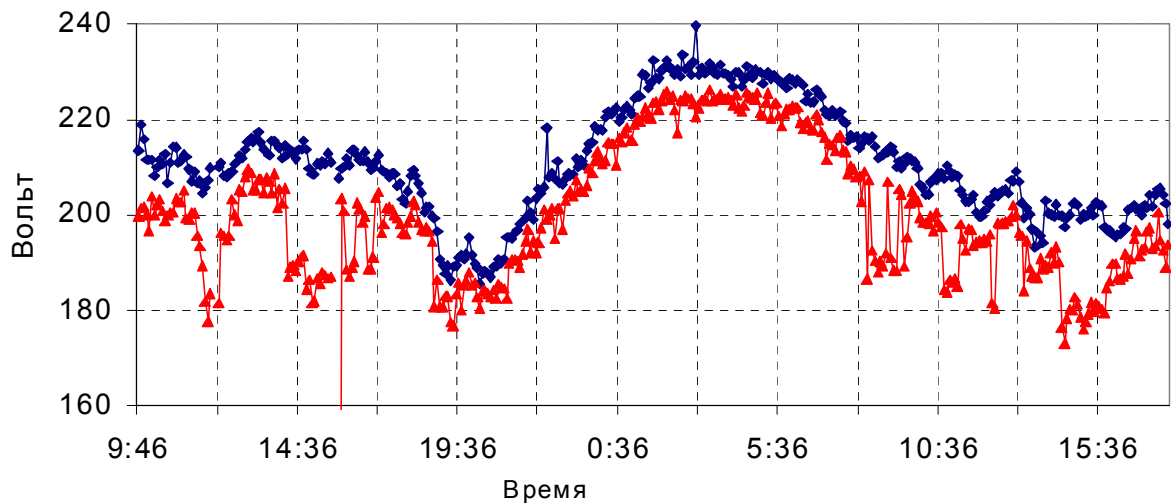




Рис.11. Напряжение "фаза-земля" и "фаза-ноль".

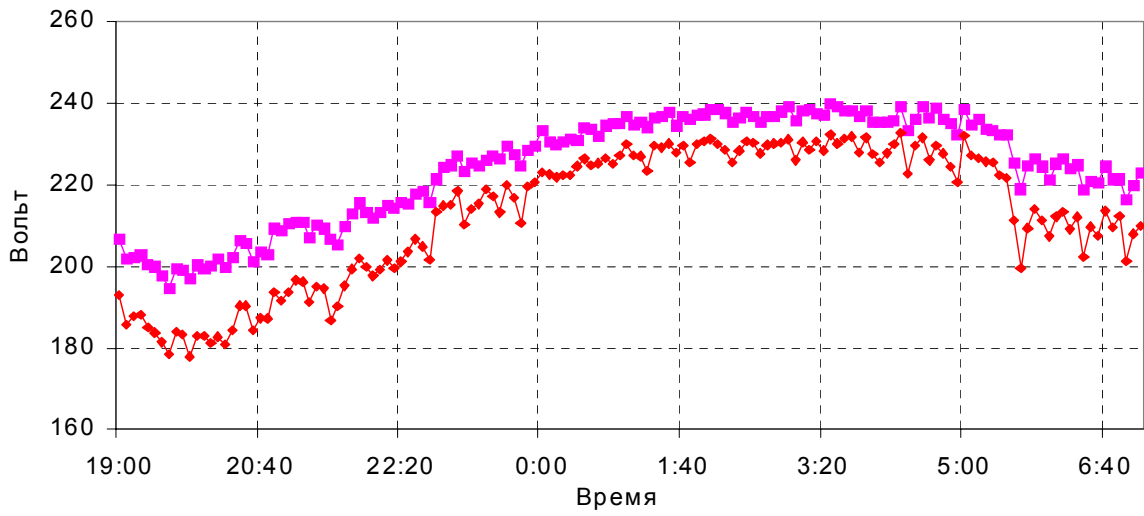


Рис.12. Диапазон изменений напряжения на нулевом проводе.

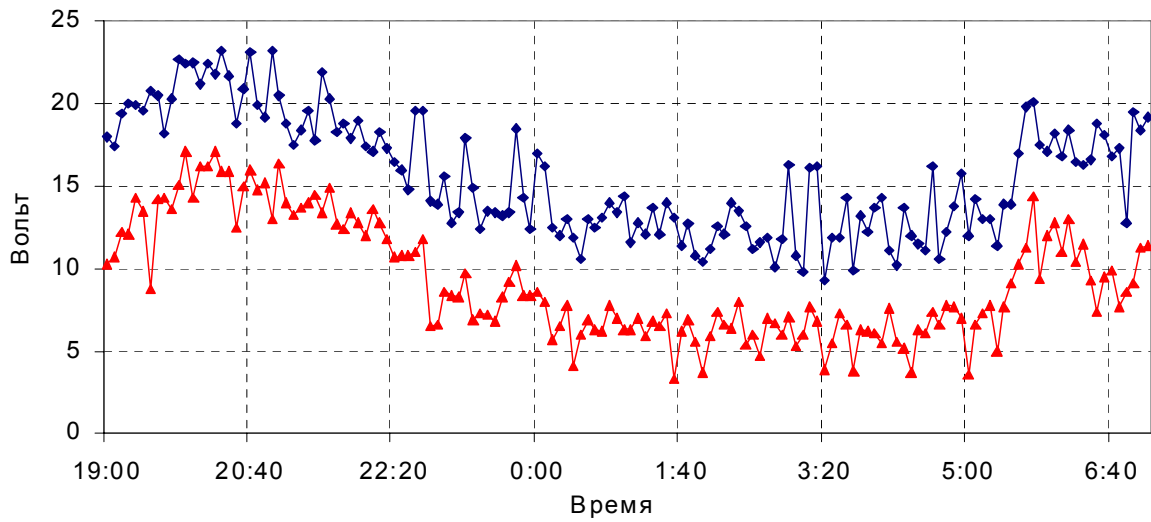


Рис.13. Суточный график токов предприятия связи.

