

## Активный фильтр в судовой электрической сети

### Active filter in ship's power network

Sergiej German-Galkin

Морская Академия, Maritime University of Szczecin  
70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1–2

**Key words:** three-phase power network, components, asymmetrical load, non-linear load, active filter, control algorithm

#### Abstract

In the article ship's three-phase power networks with variable, asymmetrical and non-linear load to compensate for the non-active components of power more and more often used active filters are presented. Getting high energy performance of active filter depends of the control algorithm. In this article ship power networks with the new algorithm calculating the active, reactive and unbalanced components to control active filter are described. Study was carried out on virtual model, implemented in the environment "Matlab-Simulink".

#### Введение

Коэффициент мощности (PF – power factor) для электрической системы переменного тока определяется как отношение активной мощности к полной мощности.

$$PF = \frac{P}{S}$$

Коэффициент мощности может принимать значения от 0 до 1. Активная мощность  $P$ (Вт) – это полезная работа, совершаемая в цепи за определённое время.

Полная мощность  $S$ (ВА) есть произведение действующих (эффективных, среднеквадратичных) тока и напряжения в цепи.

Полная мощность может превышать активную мощность по следующим причинам:

- нагрузка имеет активно-реактивный характер;
- нагрузка нелинейна, вызывающая появление гармонических составляющих в токе;
- в трехфазной сети нагрузка несимметрична.

Отличие полной и активной мощности может быть вызвано одной или несколькими из перечисленных причин.

Полная мощность  $S$ (ВА), активная мощность  $P$ (Вт), реактивная мощность  $Q$ (ВАр) и мощность искажений или несимметрии  $T$ (ВАр) связаны известным соотношением.

$$S^2 = P^2 + Q^2 + T^2 \quad (1)$$

Одним из основных направлений при обеспечении энергоэффективности и энергетической безопасности в настоящее время является построение интеллектуальных автономных энергетических систем (smart grid).

Это гибкие перестраиваемые системы, которые обеспечивают не только собственные потребности, но и могут быть подключены к системе распределенной генерации электроэнергии.

В сетях централизованного энергоснабжения задачи поддержания максимальных энергетических показателей решаются путем разработок и внедрения активных фильтров.

Эти фильтры генерируют всю гамму неактивных составляющих мощности в нагрузку и, тем самым, на 20–25 процентов уменьшают загрузку питающих линий и генерирующих систем.

## Функциональная схема активного фильтра

Функциональная схема активного фильтра, подключенного к питающей сети, показана на рис. 1.

В звене постоянного тока АФ включен конденсатор  $C_d$ . Управление силовой частью осуществляется от релейного регулятора, обеспечивающего скользящий режим по току «токовый коридор». На входе релейного регулятора сравниваются вычисленный, требуемый активный ток нагрузки и ток в сети. В итоге АФ генерирует в сеть все неактивные составляющие тока (мощности) нагрузки.

Основной проблемой при построении АФ является вычисление активных составляющих тока нагрузки.

Силовая часть АФ представляет собой трехфазный мостовой полупроводниковый коммутатор, подсоединенный к сети зажимами переменного тока через дроссели [1].

Эта задача решается путем адекватного преобразования координат, позволяющего не только упростить математическое описание, но и синтезировать эффективные алгоритмы управления АФ.

## Результаты моделирования

Преобразование координат широко используется в современных теориях мгновенной мощности [2, 3]. Классические преобразования Парка из неподвижной системы координат  $(a, b, c)$  во вращающуюся систему координат  $(d, q, 0)$  приводят к погрешности вычисления активного тока (активной мощности) в случае несимметрии нагрузки [4].

Эта погрешность может быть устранена при использовании системы трех вращающихся координат  $p, q, r$  [5, 6].

Преобразование напряжений из системы координат  $d, q, 0$  в систему координат  $p, q, r$  осуществляется в соответствии с уравнением (2).

$$\begin{bmatrix} u_p \\ u_q \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_d}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_0}{u_{d0}} \\ \frac{u_{d0}}{u_d} & 1 & 0 \\ -\frac{u_0}{u_{d0}} & 0 & \frac{u_d}{u_{d0}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $u_{d0} = \sqrt{u_d^2 + u_0^2}$ .

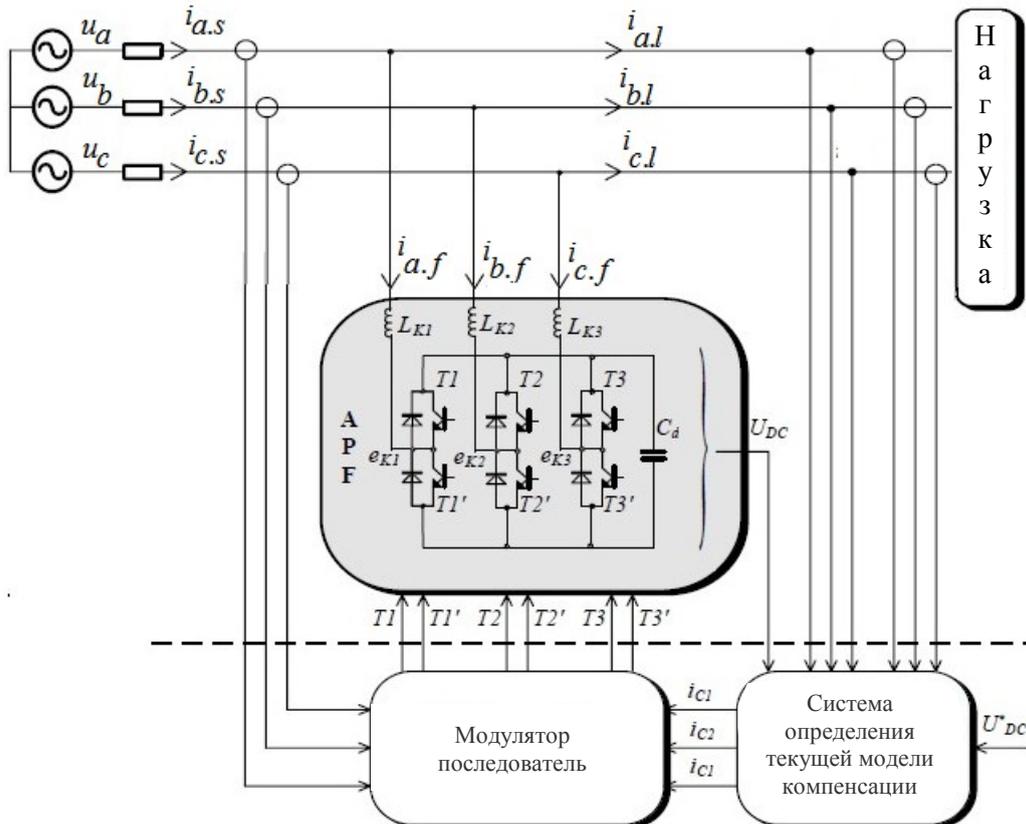


Рис. 1. Функциональная схема активного фильтра [1]

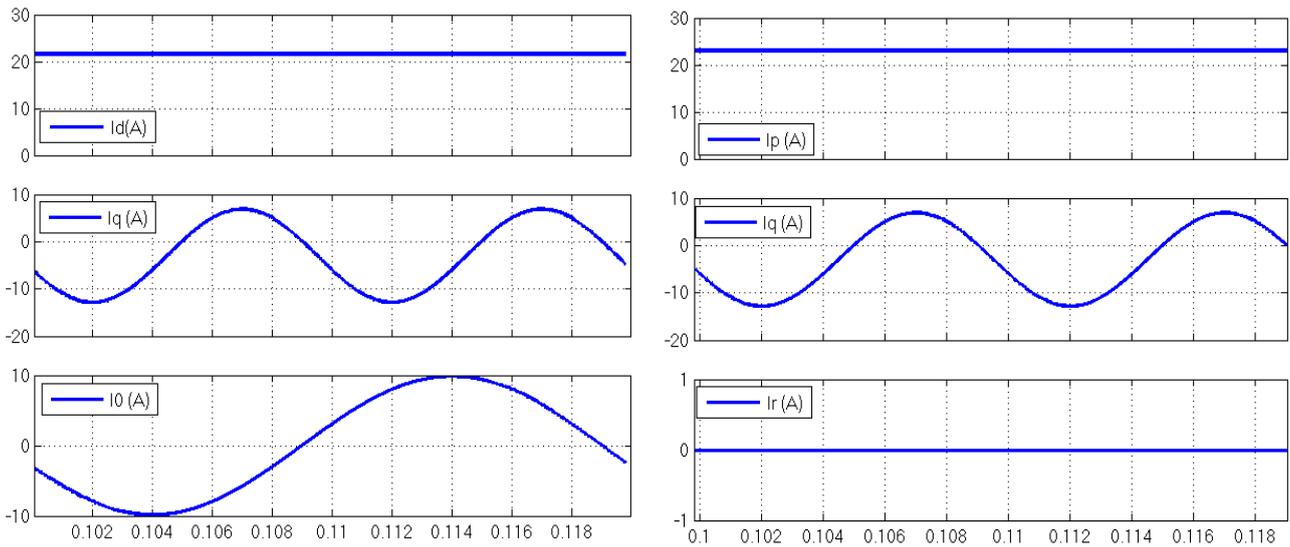


Рис. 2. Токи в системе координат d, q, 0 и p, q, r

Преобразование токов осуществляется по аналогичным уравнениям.

На рис. 2 показаны токи в системе координат d, q, 0 и p, q, r в трехфазной сети с несимметричной R, L нагрузкой. В системе координат d, q, 0 токи в нагрузке от нулевой составляющей не учитываются в активной составляющей тока Id. В этом случае источник энергии дополнительно нагружен током асимметрии.

В системе координат p, q, r ток нулевой составляющей содержится в активном токе нагрузки Id и генерируется инвертором. В результате источник питания не загружается дополнительным неактивным током.

Трехфазная несимметричная электрическая сеть, содержащая инвертор со следящим

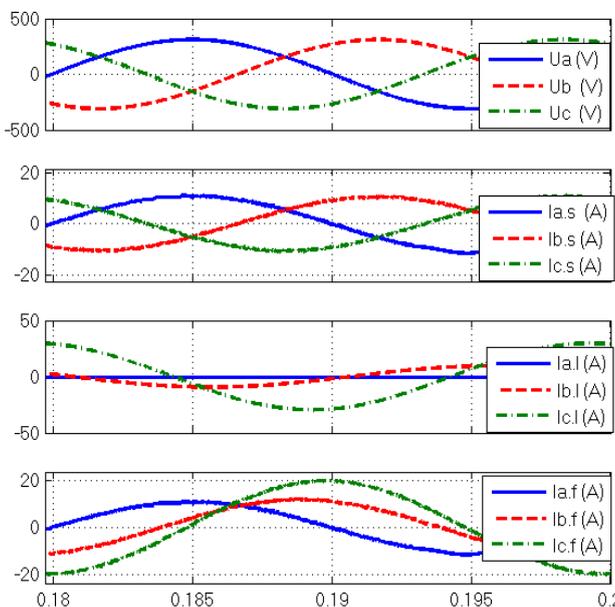


Рис. 3. Результаты симуляции

токовым управлением и определением управляющих сигналов в системе координат p, q, r, была реализована в программной среде Matlab-Simulink.

Результаты моделирования этой системы при отключении фазы A и активно-индуктивной нагрузки в фазах B, C показаны на рис. 3. Полученные результаты свидетельствуют о полной компенсации неактивной мощности асимметрии в питающей электрической сети.

### Заключение

Микропроцессорная система управления (МП) позволяет вычислить сигналы управления активным фильтром в различных системах координат. На сегодняшний день таких систем координат предложено 8. Различаются эти системы сложностью организации алгоритма МП и точностью поддержания коэффициента мощности близким единице. Система координат p, q, r разработана сравнительно недавно. Задачей представленного исследования была проверка эффективности использования этой системы координат. Виртуальная установка, реализованная в среде Matlab-Simulink позволила исследовать электромагнитные процессы в судовой электрической сети и подтвердить перспективность использования базовых координат p, q, r для управления активным фильтром.

### Conclusion

The microprocessor control system (MP) enables us to calculate the control signals active filter in different coordinate systems. To date, such coor-

dinate systems proposed 8. These systems differ in the complexity of the organization and the accuracy of the algorithm MP maintain a power factor close to unity. Coordinate system p, q, r developed recently. The objective of the present study was to test the effectiveness of the system of coordinates. Virtual setting, implemented in an environment Matlab-Simulink possible to study the electromagnetic processes in the vessel's electrical network and confirm the promise of basic coordinates p, q, r to control the active filter.

## Литература

1. STRZELECKI R., SUPRONOWICZ H.: Filtracja harmoniczných w sieciach zasilających prądu przemiennego. Wydawnictwo „Adam Marszałek”, Toruń 1998.
2. AKAGI H. et al.: Generalized theory of instantaneous reactive power in three-phase circuits. Conf. Rec. IPEC'83, Tokyo, 1993, 1375–1386.
3. AKAGI H.: New trends in active filters. Conf. Proc. EPE'95, Sevilla, 1995, 0.017–0.026.
4. КОВАЧ К.П., РАЦ И. : Переходные процессы в машинах переменного тока. Л. Госэнергоиздат, 1963.
5. ЖЕМЕРОВ Г., КОЛЕСНИК В., ИЛЬИНА Щ.: Соотношения для преобразований координат обобщенных векторов напряжений и токов трехфазной системы электропитания. НТУ, «Харьковский политехнический институт», Харьков 2009.
6. КИМ Н., БЛААВЕРГ F., ВАК-ДЕНСЕН В.: Instantaneous power compensation in three – phase systems using p-q-r theory. IEEE Trans. – Power Electronics, vol. 17, No. 5, 2002.