

Aktywna kompensacja równoległa przy użyciu zasilacza sieciowego z przestrajalnym filtrem indukcyjnym

STRESZCZENIE

Stały rozwój gospodarczy krajów powoduje, że do sieci elektroenergetycznej dołączanych jest coraz więcej różnego rodzaju urządzeń, a tym samym rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Te, coraz bardziej rozbudowane funkcjonalnie, układy i systemy wymagają często zasilania napięciem o wysokiej jakości. Jednocześnie ich najczęściej nieliniowy i niestacjonarny charakter ma negatywny wpływ na funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. Takie oddziaływanie na sieć odkształca jej napięcie i powoduje generowanie zaburzeń, mogących zakłócać pracę samej sieci, jak również innych odbiorników. Często też, urządzenia elektryczne (np. silniki) pobierają moc bierną, która nie jest zamieniana na pracę, ale jest niezbędna do prawidłowego ich funkcjonowania. Pobór jej ma również negatywny wpływ na sprawność dystrybucji energii elektrycznej. Pobór mocy biernej jest więc efektem niepożądanym i ograniczanym przez dystrybutorów energii elektrycznej, poprzez naliczanie dodatkowych opłat za jej przesył. W celu kompensacji mocy biernej i mocy odkształcenia, pobieranej przez odbiorniki energii, często stosuje się, na ogół mało efektywne, pasywne środki (filtry), prowadzące do częściowego tylko rozwiązania problemu. Filtry pasywne umożliwiają redukcję tych mocy tylko w ograniczonym zakresie i o wartości (charakterystyce) przewidzianej już na etapie ich projektowania. Natomiast filtry aktywne, mogące dostosować się do warunków pracy sieci i odbiornika, cechują się wysoką ceną, dlatego też, w celu redukcji kosztów i podniesienia możliwości kompensacyjnych filtra stosowane są układy hybrydowe – łączące cechy filtrów pasywnych i aktywnych. Ich użycie jest ekonomicznie uzasadnione, szczególnie w przypadku odbiorników dużych mocy.

Biorąc pod uwagę wyzwania techniczne i ekonomiczne, związane z przetwarzaniem energii elektrycznej i poprawą jej jakości, w rozprawie zaproponowano metodę aktywnej kompensacji równoległej, realizowanej przez zasilacz sieciowy prądu stałego. W związku z tym układ taki jest dwufunkcyjny – oprócz zasilania odbiornika dołączonego do szyny DC, pełni również rolę równoległego filtra aktywnego. Zdaniem autora, takie urządzenia, o relatywnie niewielkich mocach wyjściowych, mogłyby realizować w systemie energetycznym kompensację „rozproszoną”.

Elementem nowości, w stosunku do innych tego typu rozwiązań, jest zastosowanie w zasilacz-kompensatorze przestrajalnego filtra indukcyjnego. Jednym z głównych powodów stosowania filtrów indukcyjnych w różnego typu układach energoelektronicznych jest konieczność ograniczania w ich prądzie (wejściowym, wyjściowym) składowych modulacji impulsowej (typowo PWM), stosowanej do sterowania zaworami w stopniu mocy. Z drugiej strony, indukcyjność filtra jest jedną z głównych przyczyn ograniczonej dynamiki działania układu przekształtnikowego. Zastosowanie filtra przestrajalnego znacząco zwiększa „pasmo przenoszenia” takiego układu. Jednocześnie, w stanie quasi-ustalonym pracy całego systemu, zawartość produktów modulacji impulsowej w prądzie sieci pozostaje na minimalnym zakładanym poziomie.

W kolejnych częściach rozprawy omówiono: strukturę systemu elektrycznego z zasilaczem-kompensatorem, koncepcję działania zasilacza z przestrajalnym filtrem indukcyjnym, strukturę układu sterowania zasilaczem i poszczególne jego elementy, wyniki badań modeli symulacyjnego i laboratoryjnego systemu elektrycznego z zasilaczem oraz ich analizę porównawczą, a także model symulacyjny zasilacza z częściowo analogowym blokiem sterowania i wyniki jego badań. W końcowej części pracy zawarto podsumowanie przeprowadzonych badań i ich rezultatów.

Active parallel compensation using a power supply with a tunable inductive filter

ABSTRACT

The constant economic development of countries means that more and more various types of devices are connected to the power grid, and thus the demand for electricity is growing. These increasingly sophisticated devices often require high-quality voltage. At the same time, their non-linear nature has a negative impact on the power grid to which they are connected. This effect on the grid distorts its voltage and causes disturbances in other loads. Often, electrical devices, such as motors, cause a flow of reactive power that is not converted into work but is necessary for their proper functioning. The occurrence of this power has a negative impact on the efficiency of electricity distribution. Consumption of a reactive power is therefore an undesirable effect and is limited by electricity distributors, by charging additional fees for its transmission. Currently, to compensate for reactive power and distortion power, generally, ineffective measures are used that lead to only a partial solution of the problem. Passive filters allow the reduction of these powers only to a limited extent and of the value (characteristics) already predicted at the design stage. Active filters, on the other hand, are very expensive, so to reduce costs and increase the compensation capabilities of the device, hybrid systems are most often used – built with both passive and active filters.

Taking into account the technical and economic challenges, related to the conversion of electricity and the improvement of its quality, this work proposes a method of active parallel compensation, realized by a power supply. Therefore, such a system is dual-function – in addition to supplying the receiver connected to the DC bus, it also operates as a parallel active filter. In the author's opinion, devices of this type, with relatively low output power, could implement in the electric system a "distributed" compensation.

The element of novelty, compared to other solutions of this type of devices, is use at the input of the power supply, of a tuned inductive filter. One of the main purposes of this filter is the necessity to limit, in the input current of the power electronics device, the pulse modulation (typically PWM) components; the pulse modulation strategy is used to control the switches in the power stage of device. On the other hand, this filter is one of the main reasons for the limited dynamics of the device's operation. Application of the tunable filter significantly increases the dynamics (i.e., "frequency response") of the device significantly. At the same time, in the quasi-steady state of the entire system operation, the content of pulse modulation products in the input current of the power supply remains at a minimum assumed level.

In the following parts of the dissertation are discussed: structure of the electric system with the power supply-compensator, concept of the power supply with a tunable inductive filter in the power stage, structure of the power supply control section and rules of operation of its individual sub-blocks, results of tests of the simulation and laboratory models of the electric system with a power supply and their comparison, and simulation model of the power supply with the partially analogue control section and their discussion. The final part of the work contains a comprehensive summary of carried out investigations and its results.