

**Г. С. БЕЛОХА**, ст. препод., ДонГТУ, Лисичанск

**Ю. П. САМЧЕЛЕЕВ**, канд. техн. наук, доцент, ДонГТУ, Лисичанск

**В. Г. ДРЮЧИН**, канд. техн. наук, доцент ДонГТУ, Лисичанск

## ВЛИЯНИЕ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С РЕЛЕЙНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

**Введение.** Современные преобразовательные системы находятся в условиях постоянно действующих на них различного рода возмущений, которые делятся на внешние и внутренние (параметрические). Характерным примером внешних возмущений являются возмущения со стороны первичного источника питания (например, колебания напряжения сети, частоты, амплитудная и фазовая асимметрия напряжений) и нагрузки. Параметрические возмущения вызваны изменением параметров объекта регулирования или звеньев САР.

Естественно, что качество работы потребителя будет определяться качеством работы вторичного источника питания (ИП), обеспечивающего необходимые параметры электроэнергии, передаваемой потребителю, т.е. малой чувствительностью к действию возмущений.

Наиболее часто встречающиеся виды искажений напряжения питающей сети, нарушающие работу вторичных ИП [1-3]:

- отклонение напряжения. ГОСТом нормируются отклонения напряжения в пределах  $\pm 10\%$  от номинального значения;

- отклонение частоты от номинального значения. Предельно допустимые значения отклонения частоты  $\pm 0,4$  Гц;

- несимметрия напряжения – характеризуется коэффициентами нулевой и обратной последовательности. ГОСТ устанавливает предельно допустимое значение в 4%;

- несинусоидальное напряжение – отклонение формы напряжения от идеальной синусоидальной вследствие наличия гармоник сетевого напряжения;

- провал напряжения – внезапное уменьшение напряжения с последующим восстановлением. Длительность провала напряжения от 10 мс до нескольких десятков секунд. Напряжение начала провала принимается равным 0,9 от номинального значения напряжения;

- перенапряжения – повышение напряжения выше 1,1 от номинального;

- прерывание напряжения – отсутствие напряжения в одной или нескольких фазах в течении более чем полупериод.

Работа, характеристики и функциональные возможности ИП с релейным управлением рассмотрены в работах [4-5]. Показано, что такие ИП решают проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) при предельном быстродействии отработки задающих сигналов и высокой точности поддержания выходного тока.

**Целью** настоящей работы является исследование реакции ИП на действие внешних и параметрических возмущений.

**Материал и результаты исследований.** Схемотехника силовой части исследуемых ИП представлена на рис.1.

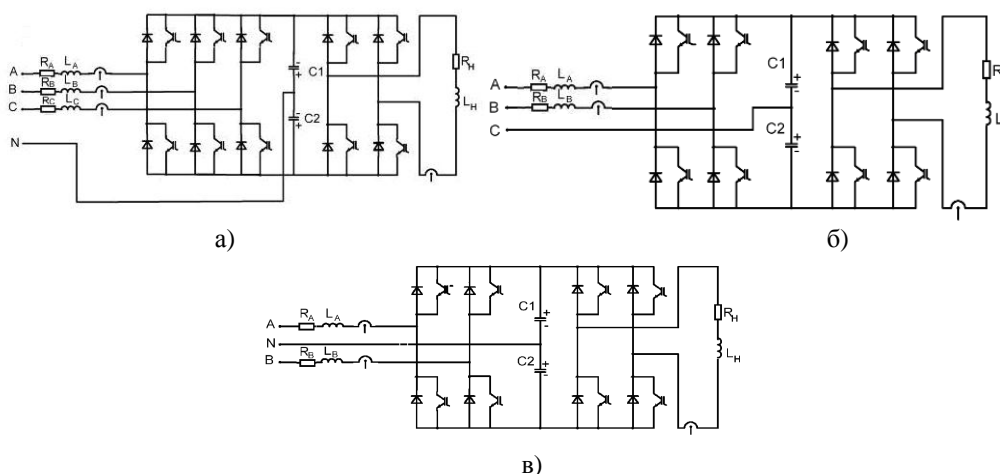


Рис.1 Схемотехника трехфазных ИП: а) ИП1, б) ИП2, в) ИП3

Реакция ИП1 на отклонения величины питающего напряжения показана на рисунке 2. В момент времени  $t=0.043\text{c}$  (рис.2 а) произошло уменьшение напряжения на 10% от номинального значения, а в момент времени  $t=0.041\text{c}$  напряжение сети увеличилось на 10% относительно номинального (рис. 2 б). В обоих случаях ток нагрузки остался неизменным, потребляемые токи сохранили синусоидальную форму и  $\cos\varphi=1$ . Амплитуда входных токов изменилась для сохранения баланса мощностей.

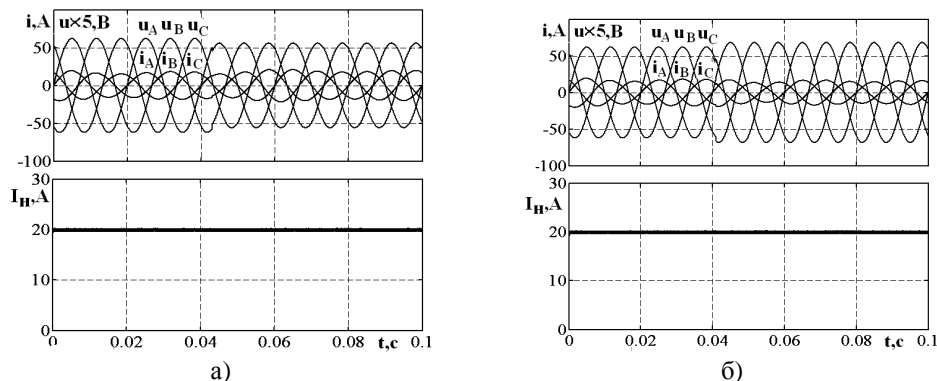


Рис.2 Реакция на уменьшение (а) и увеличение (б) напряжения сети

На рисунке 3 показана реакция на отклонения частоты питающего напряжения.

На рисунке 3 а в момент времени  $t=0.052\text{c}$  изменилась частота питающего напряжения с 50 до 48 Гц, а на рисунке 3 б в момент времени  $t=0.052\text{c}$  – с 50 до 52 Гц. В обоих случаях процесс стабилизации тока нагрузки не нарушен, входные токи синусоидальны и синфазны с напряжением сети.

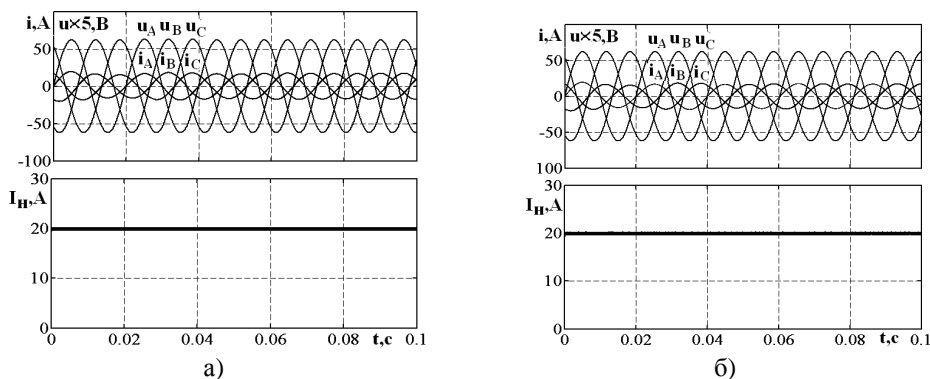


Рис. 3 Реакция на уменьшение (а) и увеличение (б) частоты напряжения сети

Перенапряжения и провалы напряжения являются случайными помехами. Для них допустимые численные значения ГОСТ не устанавливает.

На рисунке 4 а показана реакция ИП1 на провал напряжения, в момент времени  $t=0.041\text{c}$  напряжение сети уменьшилось относительно номинального на 30%. После уменьшения напряжения начался переходный процесс, после окончания которого установилось новое значение амплитуды фазного тока, ток увеличился для сохранения баланса мощностей. На процесс стабилизации тока нагрузки провал напряжения не повлиял. В момент времени  $t=0.14\text{c}$  произошло восстановление напряжения до номинального значения. После окончания переходного процесса, установилось новое значение амплитуды фазного тока.

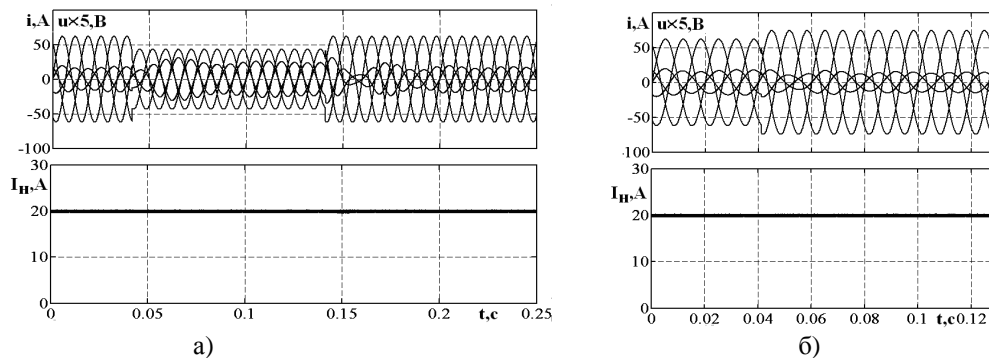


Рис. 4 Реакция на провал напряжения (а) и перенапряжение (б)

На рисунке 4 б показано влияние перенапряжения на работу ИП1, в момент времени  $t=0.042$  с напряжение сети увеличилось на 20%. Для сохранения баланса мощности амплитуда потребляемых токов уменьшилась. Стабилизация тока нагрузки не нарушилась, ЭМС сохранилась.

На рисунке 5 представлена работа ИП при несимметрии напряжения сети (коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжения сети 4%). В отличие от симметричной сети, где общее напряжение на конденсаторах не имеет пульсаций, несимметрия приводит к появлению пульсаций напряжения конденсаторов с частотой 100 Гц. Стабилизация тока нагрузки не нарушилась.

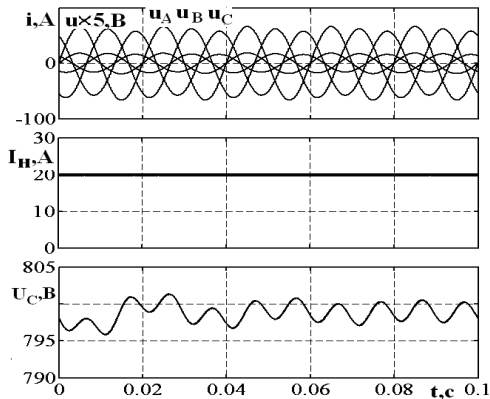
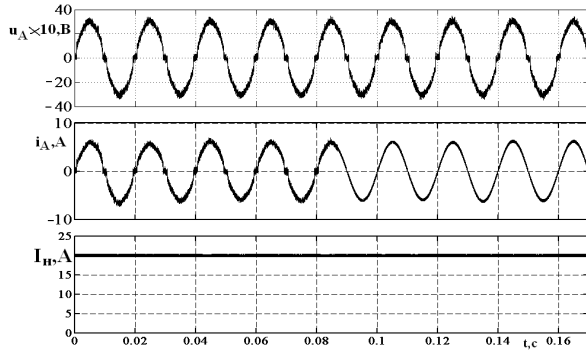


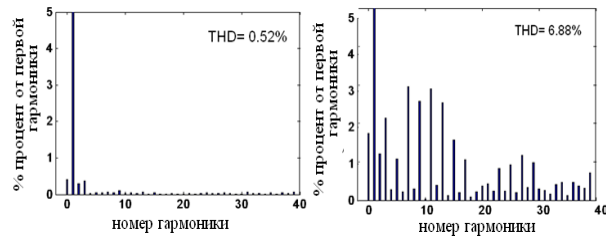
Рис.5 Работа ИП при несимметрии напряжения

Одним из нежелательных видов искажений кривой напряжения является искажение в момент перехода кривой через ноль. Для системы управления это чревато нарушением ее синхронизации с напряжением сети (система не «чувствует» истинный момент перехода кривой напряжения через ноль). На рисунке 6 приведены кривые напряжения, тока фазы А (ИП1) (рис.6а) и спектр потребляемого тока (рис. 6б). Из кривых следует, что с учетом быстрого действия ИП, кривая тока полностью повторяет искаженную кривую напряжения (коэффициент гармонических составляющих тока  $THD=6,88$  %). Улучшить кривую тока возможно посредством применения устройства фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В момент времени  $t=0,087$  с ФАПЧ подключен к системе, что привело к значительному улучшению кривой тока,  $THD$  уменьшился в 13 раз и равно 0,52 %.

Аналогичные результаты получены и для ИП2 и ИП3.



а)

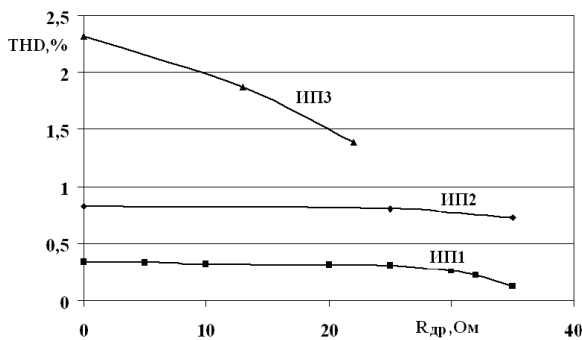


б)

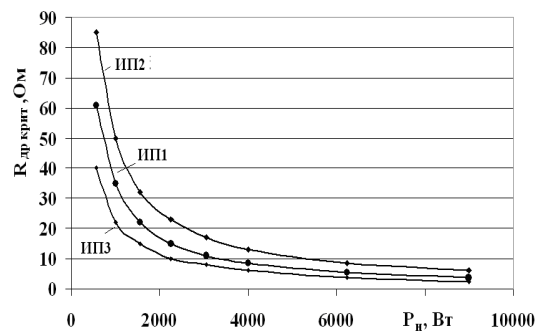
Рис. 6 Влияние ФАПЧ на работу ИП

Влияние активного сопротивления фазного дросселя на  $THD$  (фаза А) приведены на рис. 7 а для всех представленных ИП (активное сопротивление изменялось от 0 до критического значения сопротивления  $R_{дркрит}$ , т.е. до значения при котором прекращается релейный режим). С ростом активного сопротивления гармонический состав улучшается, но при этом растут потери мощности, снижается КПД.

На рисунке 7 б представлены графики зависимостей  $R_{дркрит} = f(P_H)$ . Из графиков следует, что с увеличением мощности критическое значение активного сопротивления уменьшается.



а)



б)

Рис.7 Графики зависимостей  $THD = f(R_{др})$  (а) и  $R_{дркрит} = f(P_H)$  (б)

На рисунке 8 а представлены зависимости критической индуктивности от мощности нагрузки для всех схмотехнических решений ИП. С увеличением мощности во всех случаях величина критической индуктивности уменьшается (значение критической индуктивности фиксировалось при значении ТНД 5%).

На рисунке 8 б показаны графики зависимости ТНД сетевого тока (на примере фазы А) от ширины петли гистерезиса релейного элемента. С увеличением ширины петли увеличивается ТНД для всех представленных схмотехнических решений.

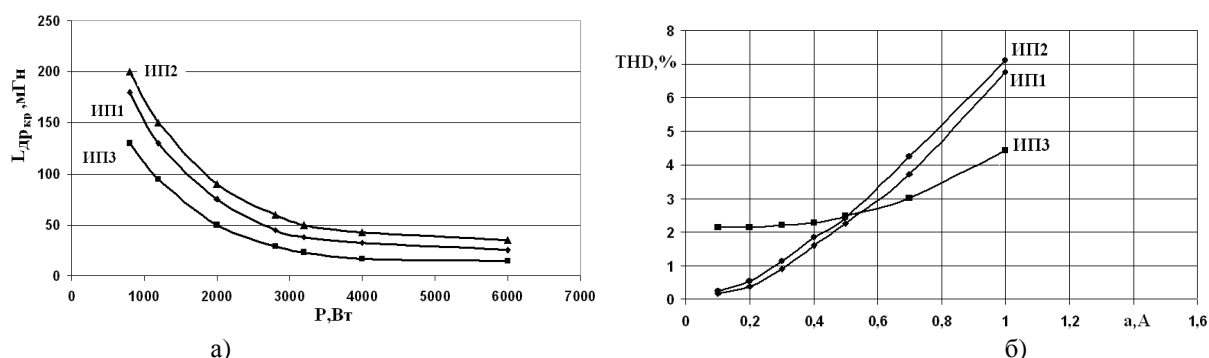


Рис. 8 Графики зависимостей  $L_{др.крит} = f(P_H)$  (а) и  $THD = f(a)$  (б)

Несимметрия индуктивностей фазных дросселей исследовалась при симметрии активных сопротивлений. Разброс значений параметров дросселей ( $L_A=10\text{мГн}$ ,  $L_B=1\text{мГн}$ ,  $L_C=5\text{мГн}$ ) не оказывает влияния на работу потребителя для всех представленных схмотехнических решений, при этом ИП остаются электромагнитно совместимыми с сетью.

Несимметрия активных сопротивлений фазных дросселей ведет к увеличению потребляемого из сети тока (ток увеличился на 2% при значениях сопротивления  $R_A=0,1\text{Ом}$ ,  $R_B=1\text{Ом}$  и  $R_C=2\text{Ом}$ , по сравнению с  $R_A=R_B=R_C=0,1\text{Ом}$  во всех фазах). Потребляемые из сети токи симметричны.

#### Выводы

Выполненные исследования показали:

1. Разработанные авторами источники питания не чувствительны к указанным выше искажениям напряжения питающей сети.
2. Во всех режимах сохраняется электромагнитная совместимость источника питания с сетью
3. Показано, что при некоторых критических значениях активных сопротивлений и индуктивностей дросселей нарушается работоспособность источника питания (прекращается релейный режим).

**Список литературы:** 1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97: – [Действительный 21.11.1997]. – Минск, 1997. – 35с. 2. Куско А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон: пер. с англ. Рободзея А.Н. М.: Додэка-XX1, 2008. - 336 с. 3. Электромагнитная совместимость потребителей моногр. / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др. – М.:Машиностроение, 2012. – 351 с. 4. Бекбаев А.Б. Система стабилизации тока, электромагнитно совместимая с сетью. / А.Б. Бекбаев, Ю.П. Самчелеев, В.Г. Дрючин, Г.С. Белоха, Е.А. Серсанбаев // Вестник КазНТУ, Алматы. – 2014. - №1(101). – с. 93-100. 5. Самчелеев Ю.П. Универсальный высокоэффективный источник питания для электроприводов постоянного и переменного тока. / Ю.П. Самчелеев, В.Г. Дрючин, Г.С. Белоха // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. - №36(1009). – С.317-321.

**Bibliography (transliterated):** 1. GOST 13109-97 Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehničkih sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektrichkoj jenergii v sistemah jelektronsabzhenija obshhego naznachenija, Minsk, 1997 Print. 2. Kusko A. and M. Tompson Kachestvo jenergii v jelektricheskikh setjah Moscow: Dodjeka-XX1, 2008 Print. 3. Zhezhenenko I.V. , A.K. Shidlovskij, G.G. Pivnjak et al. Jelektromagnitnaja sovmestimost' potrebitelej monogr. Moscow: Mashinostroenie, 2012. Print. 4. Bekbaev A.B., Ju.P. Samcheleev, V.G. Drjuchin, G.S. Beloha and E.A. Sersanbaev "Sistema stabilizacii toka, jelektromagnitno sovmestimaja s set'ju". Vestnik KazNTU, 1(101), 2014. 93-100 Print. 5. Samcheleev Ju.P., V.G. Drjuchin and G.S. Beloha. "Universal'nyj vysokojeffektivnyj istochnik pitaniya dlja jelektroprivodov postojannogo i peremennogo toka" Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Serija: Problemi avtomatizovanogo elektroprivodu. Teorija i praktika. No 36(1009), 2013. 317-321. Print.

Поступила (received) 22.08.2015