

СЕКЦИЯ VIII ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

АКТИВНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

С. Г. Алимасов

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

Научный руководитель М. С. Лурье

Рассмотрен метод снижения пульсаций напряжения мощных выпрямителей для питания электрофизической аппаратуры, основанный на введении в цепь нагрузки компенсирующей электродвижущей силы, равной по величине и противоположной по фазе напряжению пульсаций.

Ключевые слова: пульсации напряжения, компенсация, моделирование, имитационная модель.

В ряде научных и промышленных отраслей необходимы мощные источники питания магнитных систем (более 10 кВт) с малыми пульсациями тока и напряжения (менее 0,01 %) и широким (до 100 %) диапазоном изменения тока в нагрузке. Такие источники строятся, как правило, на управляемых выпрямителях или широтно-импульсных преобразователях.

Нагрузкой в данных устройствах является мощный электромагнит с кованым или литым сердечником. Индуктивный характер нагрузки способствует снижению пульсаций тока, но наличие потерь энергии в цельном сердечнике и значительная индуктивность рассеяния приводит к тому, что реальная проводимость такой нагрузки для первой гармоники пульсаций может быть значительно больше, чем у идеальной активно-индуктивной цепи.

Как известно, использование пассивных фильтров для снижения пульсаций в мощных выпрямителях нецелесообразно.

В работе [1], а затем и в [2] рассматривалась возможность применения так называемых компенсаторов пульсаций (КП), которые представляют собой генераторы переменной, компенсирующей электродвижущей силы, направленной против электродвижущей силы пульсаций.

Пассивные схемы КП могут заметно превосходить обычные фильтры, так как при тех же условиях имеют больший коэффициент сглаживания. Но такой коэффициент сглаживания может быть получен только в режиме резонанса напряжений первичной обмотки трансформатора.

При колебаниях частоты сети, тока нагрузки и вследствие нелинейности свойств магнитного сердечника КП выходит из резонанса, коэффициент сглаживания резко снижается и падает коэффициент сглаживания, который в реальных условиях не превышает нескольких десятков.

Существует другой тип КП, который может быть назван активным (рис. 1) [1]. В нем напряжения пульсаций усиливаются усилителем переменного тока и с помощью трансформатора вводятся в рабочую цепь в противофазе к пульсациям на нагрузке. Он представляет собой замкнутый автоматический контур (рис. 1, а). Напряжение пульсаций от датчика пульсаций ДП с инверсией проходит на вход усилителя У при $U_1 = 0$, усиливается и через трансформатор ТР подается в цепь нагрузки в противофазе с напряжением (током) пульсаций ТП. Конструктивно такой КП состоит из усилителя переменного тока У с конденсатором С на входе, трансформатора Тр с первичной обмоткой W1, компенсирующей обмоткой W2, включенной последовательно с нагрузкой и обмоткой размагничивания W3 с дросселем Др, как показано на рис. 1, б.

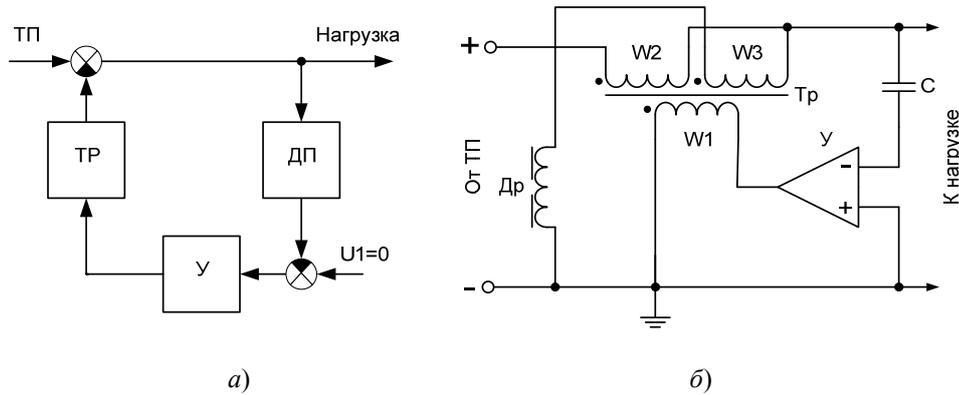


Рис. 1. Схемы активного КП:
а – структурная; б – принципиальная

Поскольку мощность пульсаций составляет 1–0,01 % мощности нагрузки на постоянном токе, то усилитель пульсаций может быть маломощным.

Трансформатор КП, нагруженный электромагнитом на частоте первой гармоники, из-за наличия потерь в обмотках и сердечнике не является идеальным устройством. Поэтому на практике можно получить коэффициент сглаживания не более 15–20, что явно недостаточно.

Целесообразней характеристики магнитных устройств получать не за счет их конструктивного выполнения, а за счет введения электронного усилителя, охватывающего трансформатор цепью отрицательной обратной связи (ООС). Такие устройства называются магнитоэлектронными [3]. Таким образом, охватывая трансформатор ООС, по напряжению компенсирующей обмотки можно значительно улучшить его амплитудно-частотные характеристики.

Питание размагничивающей обмотки удобнее всего осуществлять от генератора тока.

Для анализа работы активного КП была разработана его имитационная модель в пакете Simulink программы Matlab. Модель состоит из стандартных блоков библиотеки SimPowerSystems. Магнитоэлектронный трансформатор создан на основе блока многообмоточного трансформатора, блока управляемого источника напряжения, измерителя напряжения на вторичной обмотке, сумматора и регулирующего усилителя цепи обратной связи с коэффициентом усиления 100.

Цепь ООС для снижения пульсаций напряжения образована пропорционально-интегральным регулятором с коэффициентом усиления $K = 100$ и постоянной интегрирования $T = 5$ с.

Результат моделирования для номинального напряжения на нагрузке приведен на рис. 2. Величина сглаживания пульсаций прямо пропорциональна коэффициенту усиления усилителя, включенного в цепь ООС. Видим, что пульсации напряжения при использовании КП снижаются в 200 раз, а пульсации тока – в 60 раз.

Простой расчет показывает, что для получения того же результата с помощью обычных сглаживающих LC-фильтров требуется фильтр с индуктивностью 0,0025 Гн и емкостью более 300000 мкФ.

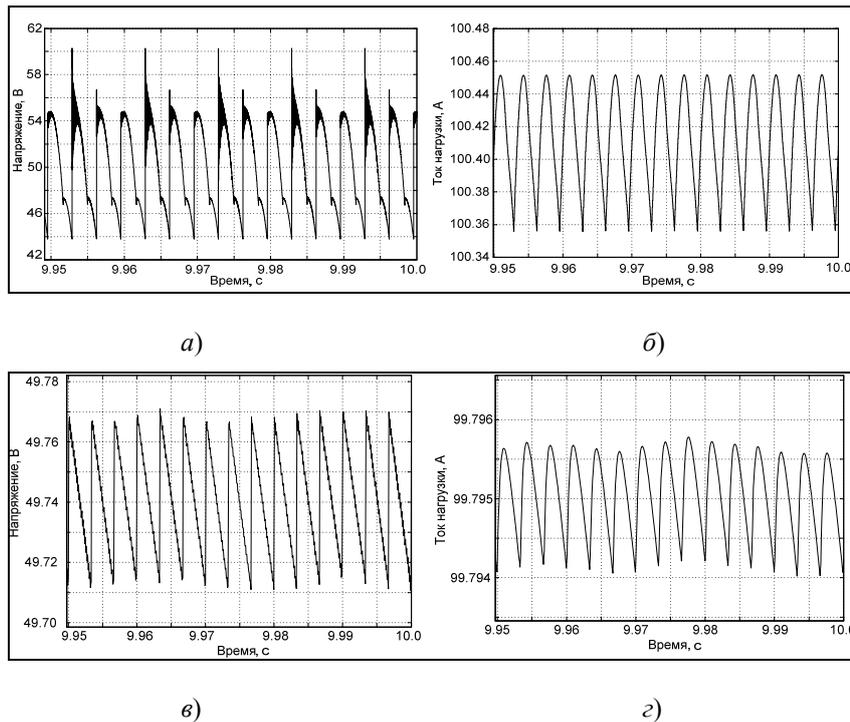


Рис. 2. Результаты моделирования при номинальном токе нагрузки и коэффициенте усиления усилителя в цепи ООС $K = 100$:
 а – пульсации напряжения на нагрузке без КП; б – пульсации тока в нагрузке без КП; в – пульсации напряжения на нагрузке с использованием КП; г – пульсации тока в нагрузке с использованием КП

При глубоком регулировании тока в нагрузке пульсации на выходе выпрямителя резко возрастают, поэтому были изучены и такие режимы работы. Здесь эффект от использования КП еще выше. Пульсации напряжения при использовании КП снижаются в 10000 раз, а пульсации тока – в 4000 раз. Это объясняется более точной компенсацией напряжения пульсаций, так как трансформатор работает практически в режиме холостого хода, и амплитудные и фазовые сдвиги между напряжением первичной и компенсирующей обмотки стремятся к нулю.

Таким образом, активные КП по своим показателям могут заметно превосходить обычные фильтры, в особенности в цепях питания сильноточных нагрузок с относительно низкими напряжениями, так как при тех же условиях имеют значительно больший коэффициент сглаживания, чем обычные фильтры.

Литература

1. Лурье, М. С. Мощные стабилизаторы тока / М. С. Лурье, Ф. Н. Кривцов, В. П. Николаев. – Л. : ЛДНТП, 1976. – 24 с.

2. Лурье, М. С. Компенсаторы пульсаций для мощных выпрямителей / М. С. Лурье, О. М. Лурье // Оптимизация режимов работы электроприводов : сб. / Сибир. Федерал. ун-т. – Красноярск, 2008. – С. 5–9.
3. Лурье, М. С. Активные компенсаторы мощных выпрямителей / М. С. Лурье, О. М. Лурье, Ю. С. Баранов // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. – 2010. – № 6 (45). – С. 149–154.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ РАСХОДОМЕРОВ

С. Г. Алимасов

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

Научный руководитель М. С. Лурье

Проанализированы особенности применения вихревых расходомеров, выявленных при исследовании спектров выходных сигналов, снимаемых с приемников-преобразователей вихревых колебаний, применяемых в вихревых кондуктометрических расходомерах.

Ключевые слова: погружные расходомеры, преобразователя вихревых колебаний, при эксплуатации расходомеров, спектральный состав, Фурье-анализ.

Погружные расходомеры для систем теплоэнергетики работают в условиях воздействия целого ряда помех. Выявить эти помехи и сформировать требования к измерительному тракту расходомера можно при исследовании спектра выходного сигнала с приемника-преобразователя вихревых колебаний.

Выходные сигналы вихревых генераторов в самом общем виде можно определить как периодические полигармонические процессы, для исследования которых можно использовать обычные методы спектрального Фурье-анализа. Изучение их важно по многим причинам, в том числе и для выработки методики оценки дополнительной систематической погрешности, возникающей из-за отличия характеристик трубопровода и условий течения жидкости в месте установки прибора от паспортных значений. Это особенно актуально для погружных приборов, где измерительным отрезком (корпусом расходомера) служит сам рабочий трубопровод.

В процессе работы расходомера выходной сигнал, снимаемый с приемника вихревых колебаний, изменяется как по частоте, так и по величине. Вариации амплитуды сигнала также велики: не менее 40 дБ. Кроме полезной составляющей, несущей информацию о расходе, сигнал содержит помехи. Они вызваны низкочастотными колебаниями массы воды в трубопроводе, пульсациями скорости потока и давления от местных сопротивлений, механическими вибрациями трубопровода, вибрацией от работы насосов, распространяющихся вдоль потока, паразитными колебаниями гибкого электрода с частотой собственных колебаний как на изгиб, так и на кручение электрическими наводками от работы аппаратуры и силовых сетей. Кроме того, ввиду нелинейности электрических свойств межэлектродного промежутка и детектора, в выходном сигнале присутствуют продукты преобразования указанных выше составляющих. Данные причины вызывают необходимость тщательного анализа выходного сигнала, снимаемого с преобразователя, для правильного проектирования электронной схемы измерительного тракта прибора.

Для исследования спектра сигнала использовалась схема, изображенная на рис. 1. В ней применялся 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), встроенный в микропроцессор фирмы ATMEL. Частота квантования была выбрана равной