

## ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

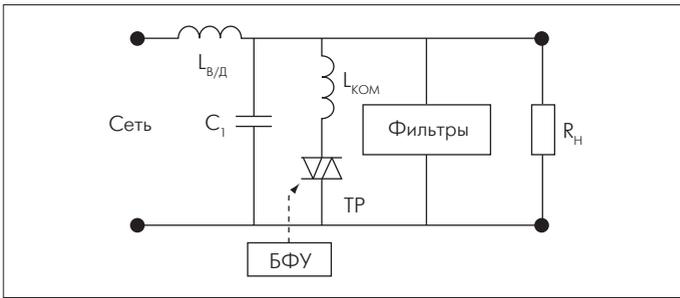
Стабилизаторы переменного напряжения обычно применяются при отклонении напряжения электрической сети более чем на 10% от нормы. Современная электронная техника, как правило, имеет импульсные блоки питания, работающие в широком диапазоне питающих напряжений. Поэтому ей не нужны в устройства стабилизации напряжения. В то же время существуют технические задачи, требующие высокой стабильности напряжения, например, стандартизация. Для решения такого рода задач сегодня обычно применяют стабилизаторы трех типов: электромеханические на основе регулируемого автотрансформатора с управляемым электроприводом, релейно- трансформаторные на основе мощного трансформатора с несколькими обмотками и коммутаторами вольтодобавки на электромагнитных реле, симисторах, тиристорах или мощных ключевых транзисторах, а также электронные. Феррорезонансные стабилизаторы из-за многочисленных недостатков сегодня практически не применяются. Кроме того, существуют стабилизаторы с управляемым резонансом, которые отличаются высокой точностью стабилизации напряжения и поэтому могут быть полезны для решения метрологических задач. Рассмотрим стабилизатор такого типа мощностью 5кВт, предназначенный для работы в сетях с частотой 50–60Гц, а также проблемы повышения точности стабилизации выходного напряжения с помощью применения в процессе настройки современных методов анализа и моделирования автоматических систем управления. Уделим внимание и вопросам уменьшения содержания высших гармоник в выходном напряжении.

Рассматриваемый стабилизатор построен по так называемой схеме управляемого резонанса (полурезонансной схеме), в которой резонанс в цепи "вольтодобавочный дрос-

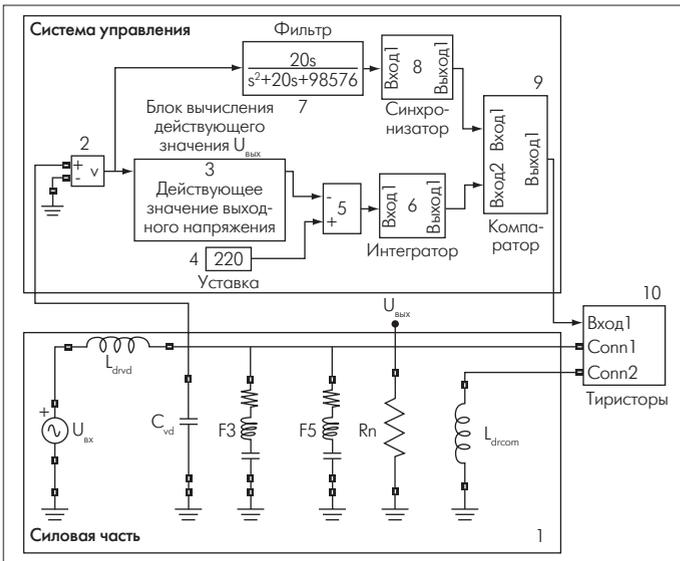
К.Левин  
klev@inbox.ru

сель-вольтодобавочный конденсатор" управляется с помощью коммутируемого дросселя и симистора. Напряжение регулируется путем изменения фазового угла включения симистора TP, что вызывает частичное включение коммутируемого дросселя Lком. Подключение коммутируемого дросселя приводит к изменению формы тока и, следовательно, к искажению формы выходного напряжения и появлению в нем высших гармоник. Искажения формы напряжения устраняются фильтрами. Характеристики симистора регулирует блок фазового управления БФУ (система управления) (рис.1).

В базовой схеме этого вида погрешность стабилизации составляет  $\pm 0,5\%$  от выходного напряжения. Для повышения точности измерений и достижения погрешности стабилизации в пределах  $\pm 0,2\%$  при всех допустимых нагрузках и отклонениях сетевого напряжения проводится тонкая подстройка стабилизатора. Для тонкой настройки параметров и выявления наиболее эффективных методов повышения точности с помощью системы математического моделирования SIMULINK (модуль MATLAB 7.7 – мощная и универсальная система математических расчетов) была создана модель этого стабилизатора (рис.2). Силовая часть модели (блок 1), представленной на рис.2, аналогична электрической схеме рис.1. На вход стабилизатора подается переменное напряжение  $U_{вх}$ . Выходное напряжение снимается с узла  $U_{вых}$ . Блок 3 (RMS), вычисляет действующее значение выходного напряжения, мгновенное значение которого измерено вольтметром (блок 2). Интегрирующий усилитель (блок 6) усиливает и интегрирует поступающий на его вход с блока 5 сигнал, равный разности сигналов опорного блока (уставки) (блок 4) и RMS, и подает его на один из входов компаратора (блок 9). Одновременно фильтр (блок 7) с передаточной функцией активного неинвертирующего фильтра, построенного на основе конверторов полного сопротивления, выделяет первую гармонику выходного напряжения и формирует сигнал, поступающий в блок синхронизатора (блок 8). Выходной пилообразный сигнал синхронизатора подается на другой вход компаратора, который сравнивает синхронизи-



**Рис. 1. Принципиальная схема силовой части стабилизатора с управляемым резонансом  $L_{в/д}$  – вольтодобавочный дроссель;  $L_{ком}$  – коммутируемый дроссель;  $C_1$  – вольтодобавочный конденсатор; Фильтры – фильтр третьей и пятой гармоник; TP – симистор; БФУ – блок фазового управления;  $R_n$  – сопротивление нагрузки**



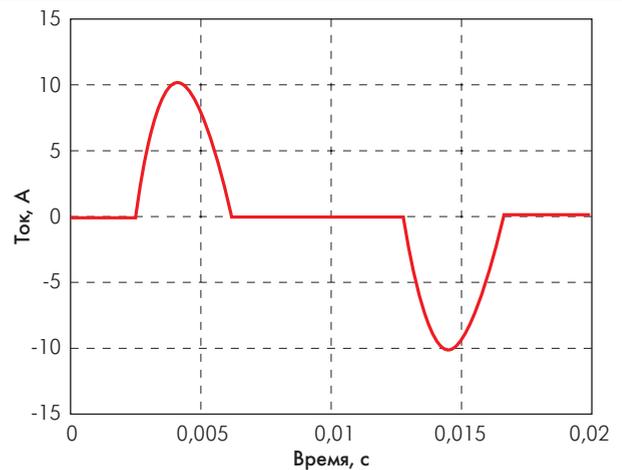
**Рис.2. Модель стабилизатора ИСН**

рующий сигнал с постоянным напряжением на выходе интегратора и передает полученный результат на вход тиристорного блока 10, который обеспечивает подключение коммутируемого дросселя  $L_{dcom}$  в силовой части.

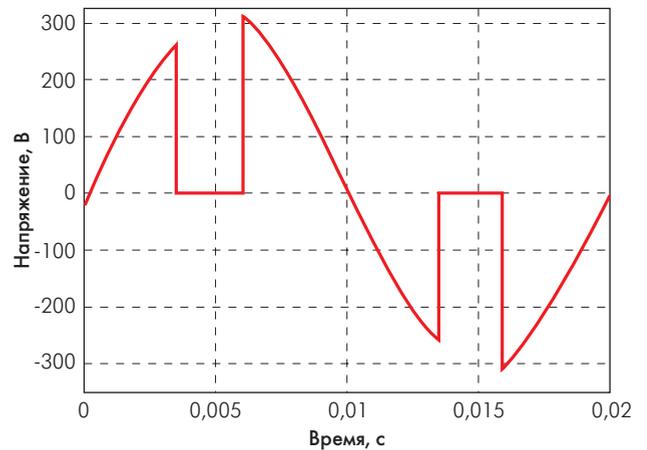
Для приведенной модели были сняты осциллограммы тока и напряжения коммутируемого дросселя, приведенные на рис.3 и 4 соответственно. Как видно из рис.4, форма напряжения на коммутируемом дросселе несинусоидальна, и в течение определенного периода напряжение постоянно. От длительности этого периода зависит значение тока. В результате ток хорошо регулируется изменением длительности периода постоянного напряжения. Поскольку искажение тока вольтодобавочного дросселя незначительно, искажения выходного напряжения малы, что позволяет снизить коэффициент высших гармоник в выходном напряжении до 3%. В модель можно вводить элементы с различными отклонениями от идеальности, что позволяет наиболее точно имитировать работу реального стабилизатора.

Осциллограммы, снятые на модели, хорошо согласуются с осциллограммами, снятыми на реальном устройстве и приведенными в литературе [1].

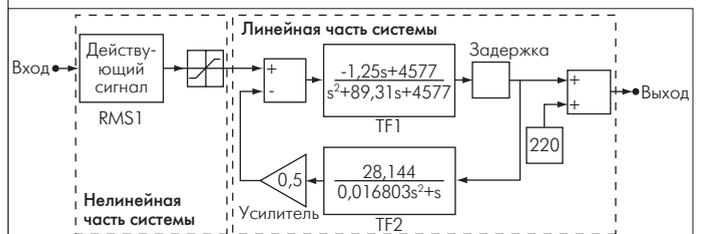
Для оптимизации настройки системы управления была также построена специальная математическая модель на основе передаточных функций, описывающая динамику изменения действующего значения выходного напряжения. Согласно этой модели, на вход системы подается синусоидальный сигнал, имитирующий переменное напряжение. Блок RMS1 вычисляет его действующее значение. Затем сигнал поступает на блок насыщения, моделирующий ограничения входного напряжения по силовой части. Основа линейной части системы управления – блоки, выполняющие передаточные функции TF1 и TF2, которые описывают частотные свойства канала прямого регулирования и цепи синхронизации.



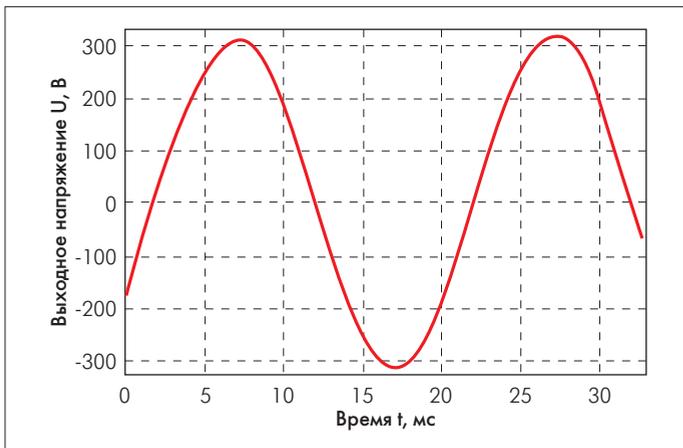
**Рис.3. Осциллограмма тока коммутируемого дросселя**



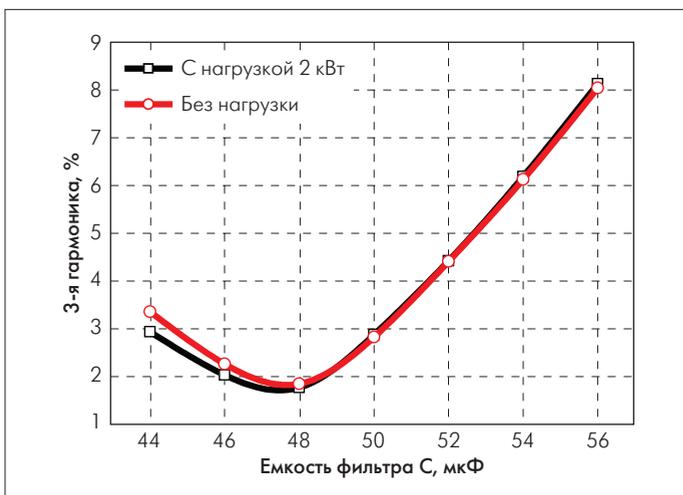
**Рис.4. Осциллограмма напряжения коммутируемого дросселя**



**Рис.5. Блок-схема математической модели стабилизатора переменного напряжения на основе передаточных функций**



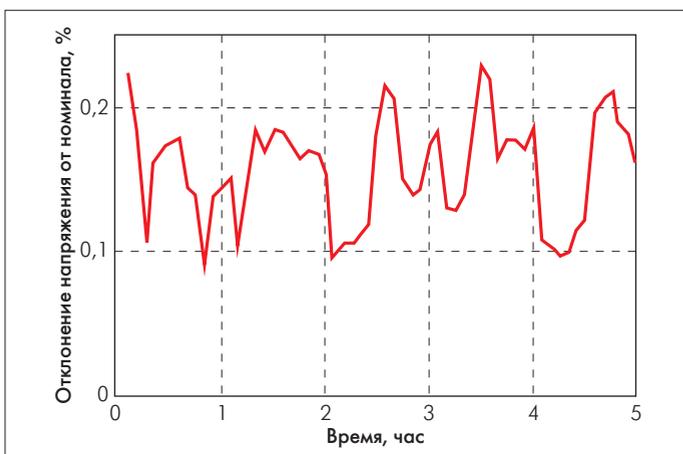
**Рис.6. Осциллограмма выходного напряжения (нагрузка 2кВт)**



**Рис.7. Зависимость процентного содержания 3-й гармоники от емкости в цепи фильтра**

ции соответственно. Функции TF1 и TF2 получены методами идентификации (реализованы на базе MATLAB) переходных процессов модели, приведенной рис.2.

После тонкой настройки системы управления стабилизатор испытывался в двух режимах – с нагрузкой и без нее. Снимались осциллограммы выходного напряжения (рис.6).



**Рис.8. Зависимость отклонения величины выходного напряжения от времени в процентах (с нагрузкой 2 кВт)**

Путем подбора значения емкости удалось снизить общее содержание высших гармоник до 3%. После настройки фильтра в течение 5 ч проводился контроль выходного напряжения. Экспериментальные данные приведены на рис. 8.

В итоге путем тонкой подстройки параметров элементов удалось добиться погрешности стабилизации выходного напряжения  $\sim 0,2\%$ .

Стабилизаторы с такими параметрами выходного напряжения соответствуют требованиям ГОСТ [2, 3] и пригодны для измерительных целей в светотехнике. Дальнейшее повышение точности возможно при более точном измерении действующего значения выходного напряжения (без пересчета через среднеквадратическое значение) с использованием дополнительного уточняющего контура на базе микропроцессора. Это позволит минимизировать погрешности, связанные с измерением действующего значения и изменением параметров элементов при изменении температуры окружающей среды.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Краснопольский А.Е., Левин К.Ю. и др. Прецизионные стабилизаторы напряжения для светотехнических измерений. Практическая силовая электроника, №31, 2008 – М.: ММП-Ирбис, с.37–41.
2. ГОСТ 13109–94. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения
3. ГОСТ 16809-88 (СТ СЭВ 6234-88). Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп. Общие технические требования