

РЕЖИМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СЕКЦИОНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Проаналізовано режими стабілізації вихідної напруги в секціонованій системі електроживлення при різних способах формування регулюючих вузлів на вторинній стороні виконавчого дискретного елемента.

Как показывает анализ построения внешних характеристик устройств электропитания со стабилизацией выходного напряжения с помощью дискретного регулирования по вторичной стороне исполнительной трансформаторной структуры [1, 2], такой метод стабилизации может быть успешно использован при построении высоковольтных систем электропитания. В работах [1, 2] показано, что в основу построения высоковольтных систем питания может быть положен трансформатор с N секциями вторичных обмоток. Соединение этих обмоток последовательно по контуру рабочего тока с помощью коммутирующих вентилях позволяет формировать суммарный уровень выходного напряжения требуемой величины. А наличие конечного числа m вторичных секций обмоток, так называемых регулировочных, которые могут находиться во включенном или выключенном состоянии, позволяет осуществлять как регулирование, так и стабилизацию выходного напряжения при изменении входного.

Основным свойством внешней характеристики такой системы при стабилизации выходного напряжения является существование петель гистерезиса при увеличении или уменьшении входного напряжения. Причем порядок изменения ширины этих петель зависит от закона изменения вторичного напряжения при включении (отключении) каждой из m регулировочных секций. При линейном изменении выходного напряжения (когда число витков каждой из регулировочных секций одинаково) ширина петель уменьшается при увеличении входного напряжения. При изменении выходного напряжения (числа витков в секциях m) по закону геометрической прогрессии ширина петель увеличивается при увеличении входного напряжения.

В работе [2] рассмотрены особенности внешних характеристик при указанных законах изменения витков в регулировочных секциях: абсолютная и относительная ширина петли, определены допустимые условия существования петель на предмет уменьшения ширины петли до нуля и “перехлеста” петель. Каково же соотношение областей допустимого существования петель в рассмотренных случаях изменения витков в регулировочных секциях? Для ответа на этот вопрос приведем результаты анализа полученных ранее соотношений.

Исходя из результатов работы [2] следует, что пределы изменения числа регулировочных секций m в заданном диапазоне поля стабилизации в случае одинаковых витков в секциях ограничиваются следующими условиями:

$$\rho \left[\frac{gm}{gm + (G - g)} - \frac{1}{g} \right] > 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{gm}{gm + (G - g)m} < \rho \frac{m}{gm + (G - g)(m - 2)}, \quad (2)$$

где $G = U_{1max}/U_{1min}$ – параметры, определяющие глубину диапазона стабилизации по входному напряжению; $g = U_{2max}/U_{2min}$ – параметры, определяющие точность стабилизации выходного напряжения; U_{1max} , U_{1min} – максимальное и минимальное значения входного напряжения; U_{2max} , U_{2min} – максимальное и минимальное значения выходного напряжения.

Соотношение (1) определяет условие образования минимальной, “нулевой” петли внешней характеристики. Выражение (2) определяет условие возникновения “перехлеста” максимальных по длительности петель.

Преобразовывая данные выражения (1) и (2), можно получить соотношение в окончательном виде:

$$\frac{(G-g)}{g(g-1)} < m < \frac{2g(G-g)}{G(g-1)}. \quad (3)$$

Условие (3) задает допустимое количество регулировочных секций вторичных обмоток силового трансформатора с одинаковым количеством витков, при которых могут быть обеспечены заданные границы поля стабилизации G и g .

Аналогичным образом можно рассмотреть условия, определяющие допустимое число секций m при распределении в них витков по закону геометрической прогрессии с коэффициентом пропорциональности γ . Из результатов работы [2] следует: для того чтобы наибольшие петли характеристики не имели “перехлеста”, необходимо выполнение условия $\gamma > \sqrt{g}$. Максимальное значение коэффициента γ определяется из условия, чтобы минимальная петля характеристики не была равна нулю, т. е. необходимо выполнение следующего условия: $\gamma < g$. Но так как для заданных границ поля стабилизации G и g выполняется равенство $\gamma^m = G/g$, то, проводя соответствующие преобразования, получим условие, определяющее допустимое число регулировочных секций m с распределением витков по закону геометрической прогрессии:

$$\frac{\ln G}{\ln g} - 1 < m < 2 \left[\frac{\ln G}{\ln g} - 1 \right]. \quad (4)$$

Приведенные условия (3), (4) показывают, что при построении системы электропитания со ступенчатым, дискретным регулированием по вторичной стороне силового трансформатора имеет место многовариантность обеспечения заданных границ поля стабилизации, а значит, и коэффициента стабилизации выходного напряжения, так же как и при дискретном регулировании по первичной стороне [3]. Данная многовариантность состоит в возможности использования различного набора количеств регулировочных секций m , обеспечивающих одни и те же границы поля стабилизации. На рис. 1 изображены графические зависимости числа m используемых регулировочных секций от глубины поля стабилизации G при различных параметрах g , характеризующих точность стабилизации выходного напряжения. Кривые m_0 соответствуют случаю, когда регулировочные секции имеют одинаковое число витков, кривые m_γ – случаю, когда число витков секций отличается друг от друга по закону геометрической прогрессии. Индексы “max” и “min” соответствуют максимально и минимально допустимым значениям числа m .

Графические зависимости подтверждают, что для обеспечения более высокой точности стабилизации (уменьшения параметра g) необходимо использовать большее количество регулировочных секций. Очевидно при этом, что напряжение на секциях должно быть уменьшенным при увеличении m , что и следует из уравнений для максимальных напряжений на секциях, нормированных по номинальному выходному напряжению, которые были получены в работе [2]:

$$\varphi_0 = \frac{2(G-g)}{m(g+1)}, \quad \varphi_{\gamma 1} = \frac{2g}{(g+1)} \left(m\sqrt{G/g} - 1 \right), \quad \varphi_{\gamma m} = \frac{2g}{(g+1)} \left(m\sqrt{\frac{G}{g}} - 1 \right) \left(\frac{G}{g} \right)^{\frac{m-1}{m}}.$$

На рис. 2 изображены величины напряжений φ_0 (для секций с одинаковым числом витков, показаны светлыми точками) и φ_γ (для секций с геометрическим распределением, показаны темными точками) в зависимости от допустимых количеств секций m . В качестве примера они рассчитаны для фиксированных параметров глубины поля стабилизации $G = 1,4$

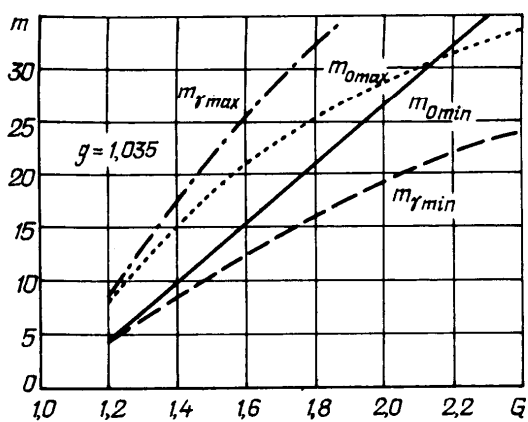
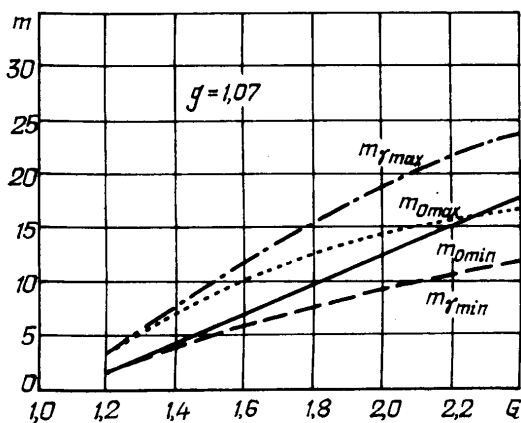
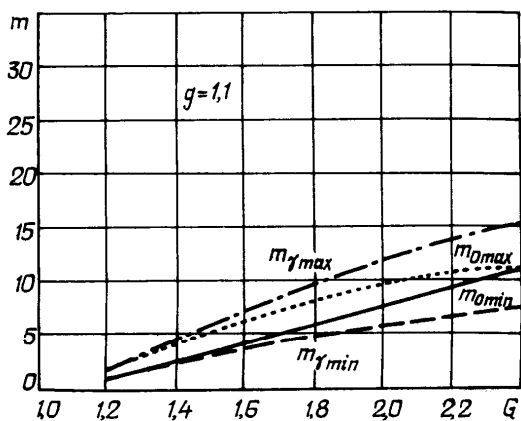


Рис. 1

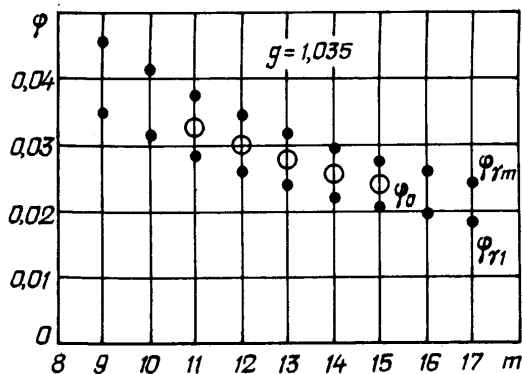
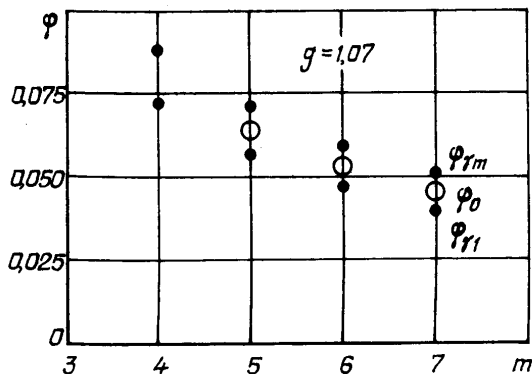


Рис. 2

при двух значениях g . Для секций с геометрическим распределением витков показаны одновременно напряжения на первой секции $\varphi_{\gamma 1}$ и последней $\varphi_{\gamma m}$, соответствующей номеру m .

Приведенные графики на рис. 1, 2 подтверждают, что для повышения точности стабилизации требуется большее количество регулировочных секций с меньшим напряжением на них. При этом диапазон возможных состояний от m_{\min} до m_{\max} увеличивается. Данные графики позволяют наглядно проиллюстрировать характерную особенность допустимых областей существования петель во внешних характеристиках рассматриваемых устройств. Эта особенность состоит в том, что для секций φ_0 допустимая область находится внутри области, соответствующей секциям φ_{γ} .

То есть в случае с геометрическим распределением витков в регулировочных секциях реализацию заданных границ поля стабилизации можно обеспечить более широким выбором количества секций m , чем в случае секций с равным количеством витков. Следует также отметить, что для секций φ_0 существует ограничение в увеличении глубины поля стабилизации G . Так, нижняя граница может быть определена исходя из физического смысла положительных значений числа m в выражении (3), т. е. параметр G должен быть больше параметра g . Верхняя граница определяется точкой пересечения кривых $m_{0 \max}$ и $m_{0 \min}$ при $G = 2g^2$. Поэтому для секций φ_0 имеем $g < G < 2g^2$.

Следовательно, если для случая секций с геометрическим распределением витков глубина поля стабилизации G теоретически не ограничена сверху из-за характера кривых $m_{\gamma}(G)$, то для случая с равными секциями глубина поля стабилизации носит строго ограниченный характер.

Таким образом, проведенный в данной работе анализ позволяет наглядно проиллюстрировать принципиальное различие областей допустимого существования режимов стабилизации на основе дискретного регулирования по вторичной стороне исполнительного силового трансформатора при различном законе изменения его коэффициента передачи. Полученные результаты могут быть полезны при выборе оптимальных параметров узлов исполнительных структур в секционированных и, в частности, высоковольтных системах электропитания для обеспечения заданных параметров поля стабилизации выходного напряжения.

Проанализированы режимы стабилизации выходного напряжения в секционированной системе электропитания при разных способах формирования регулирующих узлов на вторичной стороне исполнительного дискретного элемента.

The input voltage stabilization modes at the sectioned power supply system are analyzed with different manners of forming the regulating units at secondary site of executive discrete component.

1. Липковский К.А., Руденко Ю.В. Стабилизация выходного напряжения в высоковольтном секционированном источнике питания // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 2. – С. 36–41.
2. Липковский К.А., Руденко Ю.В. Особенности внешней характеристики секционированного стабилизированного источника электропитания // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 4. – С.7–11.
3. Липківський К.О. Порівняльна оцінка основних варіантів побудови розрахункових характеристик виконавчих структур дискретних стабілізаторів напруги змінного струму // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 5. – С. 28–31.

Надійшла 31.03.2010