

МИНВУЗ УССР
КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. 50-летия ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Кафедра кинотехники

В. В. ПИЛИНСКИЙ

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНЫХ
СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

(Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Электропитание специальной аппаратуры»)

Киев—1975

МИНВУЗ У С С Р

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. 50-летия
БЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Кафедра кинотехники

В. В. ПИЛИНСКИЙ

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНЫХ

СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

(Методические указания к курсовому проектированию по
дисциплине "Электронитание специальной аппаратуры")

Киев - 1975

Ответственный редактор к.т.н., доц. Г.С. Векслер

Подписано к печати 2.10.75г.

Зак. 424. Тираж 250. Объем 3,5 п.л.

Л Ф О П КПИ,

Брест-Литовский пр.,39.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ

1.1. Назначение и состав пособия.

Повышение точности, быстродействия, надежности, а также улучшение других качественных показателей электронной, акустической и электроакустической аппаратуры потребовали дальнейшего совершенствования источников вторичного электропитания, свой - ства которых оказывают существенное, а в некоторых случаях - определяющее влияние на характеристики питаемых устройств и систем в целом.

Помимо с требованиями к традиционным статическим параметрам стабилизированных источников электропитания предъявляются новые требования - к динамическим параметрам, описывающим работу источников электропитания при возмущениях, длительности которых (верхняя частота спектра) сравнимы со временем установления переходных процессов (с граничной частотой) тракта регулирования стабилизатора.

При скачкообразных возмущениях входного напряжения или нагрузки (тока, отбираемого потребителем) для описания работы стабилизатора используется переходная характеристика, представляющая собой соответственно реакцию стабилизатора на единичный скачок входного напряжения или нагрузки. Для описания работы источников электропитания в режимах частотномодулированного или гармонического изменения переменной составляющей нагрузки используется зависимость выходного сопротивления от частоты изменения нагрузки.

В настоящее время лучшими статическими и динамическими свойствами обладают источники электропитания с транзисторными стабилизаторами напряжения (ТСН) непрерывного действия.

В разделах 1,2 данного пособия приведены общие методические указания к курсовому проекту по курсу "Электропитание специальной аппаратуры", выполняемому студентами электроакустического факультета

та КПИ; в разделах 3,4 разработаны указания к методике расчета динамических характеристик транзисторных стабилизаторов напряжения последовательного типа непрерывного действия, наиболее широко применяемых в звукотехнической, электроакустической и другой электронной аппаратуре.

При описании источников электропитания следует пользоваться терминологией и классификацией, приведенной в ГОСТ 19157-73. Аппаратура радиоэлектронная. Средства вторичного электропитания. Классификация.

1.2. Структура и состав проекта.

1.2.1. Задачи проектирования. Курсовой проект по дисциплине "Электропитание специальной аппаратуры" ставит своими задачами:

- 1) дальнейшее совершенствование развития навыков проектирования электронных устройств (выполнение инженерных расчетов, технической документации);
- 2) углубление знаний в области электропитающих устройств звукотехнической и электроакустической аппаратуры;
- 3) приобретение навыков разработки технического задания на электронные узлы и его реализации в проектируемом устройстве;
- 4) совершенствование навыков работы с научно-технической и патентной литературой;
- 5) знакомство и изучение соответствующих Государственных стандартов СССР;
- 6) знакомство с вопросами экономики при проектировании электронных устройств.

Курсовой проект представляет собой проект блока вторичного электропитания, содержащий техническое задание, обоснование основных технических решений, инженерные расчеты, графический материал и т.д.

Проект состоит из графической части и пояснительной записки к ней.

1.2.2. Содержание графической части.

Графическая часть проекта включает 3-4 листа чертежей.

На первом листе (формат 24) приводится сборочный чертеж блока питания в трех проекциях с необходимыми разрезами, дающими полное представление о конструкции блока и креплении сборочных единиц (трансформатора, дросселя и т.п.) и крупных деталей (конденсаторов и др.).

На втором листе (формат 22) выполняется сборочный чертеж силового трансформатора.

На третьем листе (формат 11 или 12) — принципиальная электрическая схема источника электропитания (допускается выполнение на миллиметровой бумаге с соблюдением всех требований ЕСКД).

На четвертом листе (формат 12) приводится схема электрических соединений (монтажная схема) блока электропитания.

Размеры блока выбираются в соответствии с ГОСТ 12868-67. Аппаратура радиоэлектронная. Основные размеры блоков, исходя из конструктивных и эксплуатационных требований.

При выполнении проекта необходимо руководствоваться требованиями следующих Государственных Стандартов СССР Единой системы конструкторской документации:

- ГОСТ 2.001-70. Общие положения.
- ГОСТ 2.101-68. Виды надписей.
- ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов.
- ГОСТ 2.103-68. Стадии разработки.
- ГОСТ 2.104-68. Основные надписи.
- ГОСТ 2.108-68. Спецификация.
- ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам.
- ГОСТ 2.301-68. Форматы.
- ГОСТ 2.302-68. Масштабы.
- ГОСТ 2.303-68. Линии.
- ГОСТ 2.304-68. Шрифты чертежные.
- ГОСТ 2.305-68. Изображения — виды, разрезы, сечения.
- ГОСТ 2.306-68. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах.
- ГОСТ 2.307-68. Нанесение размеров и предельных отклонений.
- ГОСТ 2.309-73. Нанесение на чертежах обозначений шероховатостей поверхностей.
- ГОСТ 2.310-68. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки.
- ГОСТ 2.311-68. Изображение резьбы.

- ГОСТ 2.812-68. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.
- ГОСТ 2.813-68. Условные изображения и обозначения швов неразъемных соединений.
- ГОСТ 2.814-68. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий.
- ГОСТ 2.815-68. Изображения упрощенные и условные крепежных деталей.
- ГОСТ 2.816-68. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
- ГОСТ 2.817-69. Аксонометрические проекции.
- ГОСТ 2.418-68. Правила выполнения электромонтажных чертежей электротехнических и радиотехнических изделий.
- ГОСТ 2.414-68. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов.
- ГОСТ 2.415-68. Правила выполнения чертежей изделий с электрическими обмотками.
- ГОСТ 2.416-68. Условные изображения сердечников магнитопроводов.
- ГОСТ 2.417-68. Правила выполнения чертежей печатных плат.
- ГОСТ 2.701-68. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
- ГОСТ 2.702-69. Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.705-70. Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками.
- ГОСТ 2.721-74. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
- ГОСТ 2.722-68. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
- ГОСТ 2.723-68. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
- ГОСТ 2.724-68. Обозначения условные графические в схемах. Электромагниты.
- ГОСТ 2.725-68. Обозначения условные графические в схемах. Устройства, коммутирующие. *(кроме п 4 п 17, 18, 21, п 6 п 19-22 и п 7 п 19)*.
- ГОСТ 2.727-68. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники. Предохранители.

- ГОСТ 2.728-74. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы.
- ГОСТ 2.729-68. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные (кроме п.12).
- ГОСТ 2.730-73. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
- ГОСТ 2.731-68. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электровакуумные.
- ГОСТ 2.747-68. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений (кроме подпунктов 24, 25 таблицы и пунктов 3.18, 16, 18-21).
- ГОСТ 2.755-74. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.

1.2.3. Содержание пояснительной записки

Объем пояснительной записки 30-40 страниц рукописного текста.

* Пояснительная записка должна включать следующие составные части:¹⁾

- титульный лист ;
- реферат ;
- содержание (оглавление) ;
- введение ;
- аналитический обзор (если это необходимо);
- обоснование выбранного направления работы или выбранного метода решения задачи (если это необходимо);
- основную часть записки, включающую в себя инженерные и экономические расчеты и полученные результаты ;
- заключение ;
- перечень использованных патентных материалов (если использовались);

¹⁾ Содержание проекта составлено на основании инструкции. Требования к составлению отчетов о научно-исследовательских работах. Всесоюзный научно-технический информационный центр. М., 1970. Государственный Комитет СМ СССР по науке и технике.

- список использованной литературы ;
- приложения ;
- перечень сокращений, символов и специальных терминов с их определением (если это необходимо).

Поясним кратко содержание указанных частей :

- Титульный лист - (см. образец в Приложении 1).
- В реферате кратко должно быть отражено основное содержание проекта. Реферат можно составить по следующему плану : в первом абзаце кратко формулируется задача проекта, во втором - методы и описание основных технических решений, в третьем - полученный результат. В левом верхнем углу приводится библиографический индекс универсальной десятичной классификации (УДК), показывающий размещение библиографической карты в систематическом каталоге. (См. приложение 2)

В конце реферата указывается количество библиографических ссылок, содержащихся в записке; количество таблиц и иллюстраций.

- Содержание - это перечень разделов и подразделов записки с указанием номеров страниц.

Введение дает краткую оценку состоянию вопроса (если записка содержит аналитический обзор) и излагает цель работы.

Аналитический обзор дает систематизированное и критическое изложение состояния вопроса.

Обоснование выбранного направления работы должно опираться на рекомендации, содержащиеся в аналитическом обзоре. Не нужно обосновывать выбор направления работы ссылками на соответствующие пункты технического задания. Не следует смешивать обоснования выбора направления работы и обоснование целесообразности работы. Последнее обусловлено заданием и должно быть отражено во введении.

Применительно к курсовому проекту обоснование выбора направления работы и аналитический обзор могут быть объединены и включены во введение. Во введении также приводится краткая характеристика потребителя и техническое задание на проектируемый блок электропитания.

- В основной части записки приводятся инженерные и экономические расчеты и другие материалы, на основании которых выполняется проектируемое устройство.

- В заключении содержится оценка результатов работы с точки зрения их соответствия требованиям задания. Указываются области применения полученных результатов, указывается, чем завершается работа (составление проектной и конструкторской документации, усовершенствование и создание новых устройств и т.д.).
- Далее приводится перечень патентных отечественных и зарубежных материалов (если использовались) и список литературы (образец составленного списка см. в конце пособия).
- К приложению прилагается иллюстративный материал (если его много), подробные математические выкладки, текст вспомогательного характера, если он перегружает основной текст и прочие дополнительные материалы.
- Перечень сокращений необходим, если их очень много. В противном случае их следует пояснять при первом появлении в тексте. Обозначения параметров должны быть составлены в соответствии с ГОСТ 1494-61. Электротехника. Обозначения основных величин (общие).

При оформлении пояснительной записки следует руководствоваться ГОСТ 2.105-68 Общие требования к текстовым документам и ГОСТ 2.106-68 Текстовые документы, а также упомянутой выше инструкцией - Требования к составлению отчетов о научно-исследовательских работах. (М., 1970.) с некоторыми отклонениями, обусловленными спецификой пояснительной записки к курсовому проекту, как категории учебной документации.

Формат листов записки - А4, листы должны быть снабжены рамкой сверху, снизу и справа - 5мм от края листа, слева - 25мм. Страницы нумеруются арабскими цифрами с точкой в правом верхнем углу листов. Рубрикация разделов, подразделов, пунктов, подпунктов выполняется арабскими цифрами с точкой.

В качестве примера приведем содержание пояснительной записки к курсовому проекту на тему: "Проект источника вторичного электропитания с транзисторным стабилизатором напряжения". Для других тем проектов структура записки сохраняется, изменяется лишь содержание.

Т и т у л ь н ы й л и с т

Р е ф е р а т

О г л а в л е н и е

1. Введение

1.1. Назначение проектируемого блока

1.2. Техническое задание на проект

1.2.1. Данные первичного источника

1.2.2. Условия эксплуатации.

1.2.3. Параметры источников вторичного электропитания.

1.2.4. Дополнительные сведения (если есть)

1.2.5. Требования к конструктивному исполнению блока.

1.2.6. Экономические требования.

2. Электрический расчет функциональных узлов источников электропитания

2.1. Расчет стабилизатора

2.1.1. Исходные данные для расчета

2.1.2. Выбор типа стабилизатора

2.1.3. Источник опорного напряжения

2.1.4. Выходной делитель

2.1.5. Регулирующий каскад.

2.1.6. Выбор (расчет) теплоотвода.

2.1.7. Усилительный каскад.

2.1.8. Вспомогательный источник питания усилительного каскада

2.1.9. Уточненные параметры стабилизатора

2.2. Расчет сглаживающего фильтра

2.2.1. Исходные данные для расчета

2.2.2. Выбор элементов фильтра ¹⁾

2.2.3. Расчет дросселя фильтра ¹⁾

2.3. Расчет выпрямителя.

2.3.1. Исходные данные для расчета

2.3.2. Выбор типа выпрямителя

(другие пункты расчета выпрямителя согласно используемой методике).

2.4. Расчет элементов защиты источника электропитания. ²⁾

1) В зависимости от используемой методики расчета и принятого типа сглаживающего фильтра содержание пунктов может быть другим.

2) В зависимости от типа защиты данный пункт может размещаться в другом, более подходящем с точки зрения логики расчета, месте записки.

2.5. (Другие расчеты - если в этом есть необходимость).

3. Конструктивные расчеты узлов источника электропитания

3.1. Конструктивный расчет дросселя фильтра

3.1.1. Исходные данные для расчета дросселя фильтра

3.1... (Другие пункты расчета дросселя)

3.2. Конструктивный расчет трансформатора

3.2.1. Исходные данные для расчета трансформатора

3.2... (Другие пункты расчета трансформатора)

3.3. Расчет внешних (нагрузочных) характеристик.

3.4. Описание конструкции

4. Расчет динамических характеристик

(см. разделы 3 и 4 данного пособия)

5. Дополнительные данные

5.1. Выбор контрольных и измерительных приборов

5.2. Ведомость покупных изделий

5.3. Расчет надежности

З а к л ю ч е н и е

Список использованных патентных материалов и литературы

П р и л о ж е н и я

1. Принципиальная электрическая схема блока вторичного электропитания

2. Перечень элементов к принципиальной электрической схеме

3. Спецификация к чертежам

4. Экспериментальные данные (если есть).

2. КРАТКИЕ УКАЗАНИЯ К ОТДЕЛЬНЫМ РАЗДЕЛАМ ПРОЕКТА (На основе анализа некоторых типичных ошибок)

Во введении отражается место средств электропитания в комплексе звукотехнической, электроакустической и другой электронной аппаратуры. Характеризуется потребитель электрической энергии, вырабатываемой проектируемым источником. Анализируются данные технических требований к проектируемому источнику электропитания, приводится краткий обзор по литературным данным и патентным материалам состояния электропитающих устройств, обосновывается выбор структурной схемы проектируемого блока.

2.1. Указания к составлению технического задания на проект

В процессе проектирования студенты должны не только научиться вести расчет по выданным им техническим требованиям к конкретным устройствам, но и научиться разрабатывать технические задания на проектирование электронных устройств на основе технических требований к этим устройствам. Поэтому, приступая к выполнению курсового проекта по дисциплине "Электропитание специальной аппаратуры", студенты вначале на основе технических требований разрабатывают техническое задание на проектируемый блок электропитания.

В техническом задании должно быть отражено следующее:

2.1.1. Данные первичного источника:

1. Номинальное напряжение (при питании от промышленной сети-фазное) $U_1, В$
2. Частота $f_1, Гц$
3. Число фаз m_1
4. Уход сетевого напряжения вверх от номинального значения $\alpha, \%$
вниз " " $\beta, \%$
5. Другие данные (если есть) - перекос фаз, нестабильность частоты напряжения сети, специфические особенности первичной сети, например, бортовая сеть и проч.

2.1.2. Условия эксплуатации :

1. Диапазон температур окружающей среды: минимальная $T_{мин}$,
максимальная $T_{макс}$.
2. Влажность.
3. Режим работы - длительный, кратковременный и повторно-кратковременный.
4. Другие данные - механические нагрузки, тропические условия и т.д.

2.1.3. Выходные данные (параметры) источников вторичного электропитания 1)

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Номинальное напряжение на потребителе 3) | $U_n, U_{вых} (U_c), В$ |
| 2. Погрешность установки $U_{вых}$ | $\delta_{вых}, \%$ |
| 3. Диапазон регулирования выходного напряжения : | |
| вверх от номинального значения | $\delta_{+}, \%$ |
| вниз от номинального значения | $\delta_{-}, \%$ |
| 4. Нестабильность выходного напряжения по входному напряжению | $\delta_U, \%$ |
| 5. Нестабильность выходного напряжения по нагрузке | $\delta_I, \%$ |
| 6. Температурный коэффициент напряжения (ТКН) | $\alpha, \%/^{\circ}C$ |
| 7. Дрейф выходного напряжения | $\delta_d, \%/час$ |
| 8. Коэффициент пульсаций | $K_n, \%$ |
| 9. Номинальное значение нагрузки 2) | $I_n, А$ |
| 10. Динамические параметры (для источников с выходным напряжением до 1 кВ): | |
| 10.1. Полное выходное сопротивление | $Z_{вых} Ом$ |
| 10.2. Допустимый коэффициент модуляции нагрузки 4) | $M_x, \%$ |
| 10.3. Максимальный выброс | $\Delta U_{nh}, \%$ |
| 10.4. Время установления процесса | $t_n, с$ |
| 10.5. Число выбросов переходной характеристики | n |
| 11. Среднее время безотказной работы | $T_{ср}, час$ |
| 12. Для источников калиброванного напряжения и тока - разрешаю- | |

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Подраздел 2.1.3. составлен на основе ГОСТ 19164-78. Приборы электронные измерительные. Источники питания. Технические требования.

2. При разработке технического задания на блоки питания (определении выходного напряжения) следует руководствоваться ГОСТ 18275-72. Аппаратура радиоэлектронная. Номинальные значения напряжений и силы токов питания, а также ГОСТ 17280-71. Микросхемы интегральные. Ряд питающих напряжений.

3. При обозначении напряжения может применяться индекс, указывающий в ы х о д узла источника электропитания (выпрямитель - В, сглаживающий фильтр - Ф; стабилизатор - С), на котором это напряжение формируется; если потребитель установлен непосредственно у выхода стабилизатора, то $U_n = U_c$.

4. Величина этого параметра определяется характером работы потребителя и поэтому уточняется по его режиму.

чая опоспособность органов регулирования

$\delta p, \%$

13. Погрешность индикаторных устройств

$\delta n, \%$

14. Другие данные (если есть) для источников, на которые стандарт ГОСТ 19164-78 не распространяется. (Стандарт распространяется на источники питания, предназначенные для использования в процессе разработки, производства и настройки радиоизмерительной аппаратуры, выполненные в виде самостоятельных приборов). Можно указать также к.п.д., $\cos \varphi$

2.1.4. Дополнительные сведения

1. Наличие защиты источников и потребителей от перегрузок
2. Наличие заземления
3. Контроль наличия сетевого напряжения
4. Контроль параметров источника электропитания
5. Сигнализация аварийных режимов
6. Другие данные

2.1.5. Требования к конструктивному исполнению блока

1. Тип конструкции
2. Условия охлаждения
3. Размещение и компоновка источника
4. Размещение органов управления и регулировки
5. Наличие контрольно-измерительных приборов
6. Размещение и коммутация сетевого и выходных разъемов
7. Другие данные

2.1.6. Экономические требования

Разработанное техническое задание необходимо согласовать с руководителем курсового проектирования.

Пояснение к п. 2.1.8.

При определении нестабильности выходного напряжения по входному напряжению δ_U следует помнить, что δ_U связана с нестабильностью входного напряжения стабилизатора через интегральный коэффициент стабилизации K_U

$$\delta_U = \frac{a+b}{K_U} [\%],$$

где a, b - нестабильности входного напряжения соответственно вверх и вниз от номинального значения.

2. Нестабильность выходного напряжения по нагрузке δ_I определяется через величину изменения нагрузки ΔI_n и выходное сопротивление $r_{вых}$

$$\delta_I = \frac{\Delta I_n r_{вых} 100}{U_{вых}} \%$$

3. Погрешность установки $U_{вых}$ и разрешающая способность органов регулирования обусловлена точностью регулировочных элементов и контролируется индикатором. Естественно, что погрешность установки $U_{вых}$ не может быть меньше разрешающей способности индикатора.

4. Дрейф выходного напряжения определяется за 8 часов непрерывной работы и за любые 10 мин на этом интервале.

5. Динамические параметры, их определение и методика расчета описаны в разделах 3 и 4 пособия.

2.2. Указания к разделу "Электрический расчет"

2.2.1. Общие указания

1. При выполнении электрических расчетов следует руководствоваться методическими разработками и книгами по проектированию, приведенными в перечне литературы применительно к конкретным темам проекта.

2. При проектировании источника электропитания в начале рассматривается стабилизатор постоянного напряжения, затем сглаживающий фильтр и его дроссель, выпрямитель, силовой трансформатор.

3. Исходными данными для расчета очередного функционального узла источника электропитания являются данные напряжения, тока, коэффициента пульсации и т.д., полученные на входе предыдущего узла.

4. После выполнения конструктивных расчетов дросселя фильтра и трансформатора, т.е. после получения точных сведений о эл. сопротивлениях трансформатора и дросселя следует выполнить расчет по уточненным данным, если фактические значения указанных параметров отличаются от ориентировочных, принятых в начале расчета, более чем на 5-10%.

5. При выборе транзисторов и других приборов следует руководствоваться справочными данными и номенклатурой из новейших литературных источников.

2.2.2. Транзисторный стабилизатор напряжения

1. Следует по возможности стремиться не расширять номенклатуру используемых активных и пассивных элементов (приборов).

2. При построении внешней (нагрузочной) характеристики на выходе стабилизатора следует учитывать внешнюю характеристику на выходе фильтра.

3. Индикатор тока должен быть включен в участок цепи, где он охвачен обратной связью.

2.2.3. Сглаживающий фильтр

1. Исходными данными для расчета фильтра являются данные на входе стабилизатора (напряжение, ток, коэффициент пульсаций), а также тип фильтра (с индуктивным или емкостным входом).

При значении I_H до 0,3 - 0,5А можно рекомендовать фильтр с емкостным входом, более 1А - с индуктивным; при $0,5А < I_H < 1А$ следует рассматривать обе варианта и выбрать более приемлемый по конструктивным, экономическим или другим соображениям.

2. При определении коэффициента сглаживания следует учитывать фильтрующие свойства стабилизатора постоянного напряжения.

3. При вычислении параметров фильтра следует оперировать со значением частоты пульсаций первой гармоники.

4. При работе на индуктивную нагрузку следует при определении критического тока $I_{кр}$ в соответствующую формулу подставлять значение фактической индуктивности дросселя фильтра $L_{др}$, а не значение минимально-допустимой индуктивности

$L_{гр\ мин}$ (как правило, следует брать $L_{гр} > L_{гр\ мин}$).

5. При выборе конденсатора фильтра следует учитывать и проверять допустимую величину пульсаций и напряжение холостого хода при максимальном входном напряжении, которые не должны превышать значения, обусловленные в ТУ на выбранные конденсаторы.

6. При расчете фильтра, начинающегося с индуктивности, коэффициент пульсации составляет для однофазного мостового выпрямителя и двухфазного выпрямителя - 67%, трехфазного одностактного - 25%, двухтактного - 5,7% - начинающегося с емкости, примерно 5 - 15%.

7. При использовании дросселя с компенсационной обмоткой (целесообразно только при постоянной нагрузке) можно считать, что коэффициент сглаживания увеличивается в 2-5 раз, и, следовательно, емкость конденсатора после дросселя или индуктивность дросселя может быть уменьшена в 2-5 раз, но если фильтр с индуктивным входом, то нельзя допускать уменьшение индуктивности ниже минимально-допустимого значения - $L_{гр\ мин}$.

8. При построении внешних характеристик выпрямителя и фильтра с дросселем следует изображать две характеристики - на выходе выпрямителя и на выходе фильтра.

9. При конструктивном расчете дросселя следует особое внимание обращать на значение оптимального зазора, а при выполнении схемы - на условное изображение дросселя.

2.2.4. Выпрямитель

1. При работе выпрямителя на емкость следует проверять диоды выпрямителя по величине максимального тока включения.

2. При работе выпрямителя на индуктивность внешнюю характеристику следует рассчитывать по формулам, справедливым для этого режима работы с учетом изменения характера работы выпрямителя при $I_H < I_{Hкр}$, где $I_{Hкр}$ - критическое значение нагрузки.

При $I_H < I_{Hкр}$ выпрямитель переходит в режим работы на емкость и поэтому точка холостого хода достигает амплитудного значения э.д.с. трансформатора $E_{дт}$.

2.3. Указания к разделу "Конструктивный расчет"

2.3.1. Трансформатор и дроссель

1. При определении габаритной мощности трансформатора следует помнить о физическом смысле этого параметра, представляющего собой произведение действующих значений напряжения и тока в общем случае различной формы. Измеряется габаритная мощность в вольт-амперах.

2. При расчете уточненных значений плотности тока в проводах следует внимательно выписывать из таблиц диаметр провода без учета изоляции или пользоваться значением сечения провода по меди.

3. Следует выбирать материал сердечника трансформатора с учетом рабочей частоты напряжения первичной сети.

4. Трансформаторы и дроссели следует использовать с сердечниками из холоднокатанной ленточной стали.

5. При выполнении чертежей трансформатора и дроссели следует тщательно определять радиус сопряжения обмотки на разрезах вида сверху.

6. При выполнении принципиальной электрической схемы следует разобраться и внимательно изображать переключатель напряжения сети 220/127/110 В.

7. При выполнении чертежа следует: а) тщательно разобраться в креплении выводных лепестков трансформатора; б) обращать внимание на наличие зазора между щеками каркаса и сердечником трансформатора; в) обращать внимание на выполнение обжимок трансформаторов различных типов (материал обжимок, способ крепления, размеры стягивающих болтов, установка болтов для крепления обжимки к шасси прибора и т.д.).

8. При выполнении принципиальной электрической схемы обращать внимание на экранирующую обмотку трансформатора.

9. Сетевой ввод осуществлять через двухполюсный (при однофазной сети) выключатель (тумблер), причем при изображении выключателя на схеме размыкаемые контакты должны быть расположены ближе к сетевому вводу.

10. При использовании в расчетах сопротивлений точечных деталей следует оперировать со значениями для максимальной температуры.

2.3.2. Компоновка блока и общие замечания по конструкции

1. При конструировании необходимо стремиться к такому размещению узлов и деталей, чтобы помимо удовлетворения конструктивных требований силовые линии (провода) были минимальной длины, т.е. трансформатор необходимо разместить рядом с сетевым вводом, около трансформатора должны быть размещены диоды выпрямителя, сглаживающий фильтр и т.д. Нельзя силовой ввод размещать в противоположном конце от трансформатора, а у трансформатора размещать стабилизатор, затем выпрямитель и фильтр — это значительно удлинит линии, связывающие отдельные узлы, что приведет к перерасходу цветных металлов и, естественно, к удорожанию блока.

2. Радиаторы (теплоотводы) с силовыми диодами и транзисторами следует размещать таким образом, чтобы обеспечивался эффективный конвекционный теплообмен. Если в блоке предусмотрено принудительное охлаждение, то ребра радиаторов должны быть ориентированы вдоль воздушного потока, если охлаждение естественное, то ребра должны быть ориентированы вертикально, причем под радиатором должно быть отверстие для "забора" охлаждающего воздуха.

3. С целью ослабления помех по шинам электропитания, как правило, выход блока питания не заземляется (заземление выполняется в функциональном блоке).

4. Для предотвращения короткого замыкания выпрямителя через заземление потребителя при выполнении блока с металлическим шасси следует теплоотводы, на которых размещены диоды и транзисторы, изолировать от шасси. (Изолировать диоды и транзисторы от радиатора не рекомендуется, так как при этом снижается эффективность теплоотвода).

5. При установке на теплоотводах силовых диодов выпрямителей, выполненных по мостовым схемам, целесообразно катодную и анодную группы диодов размещать на отдельных теплоотводах, используя диоды прямой и обратной полярностей.

6. При установке на металлическое шасси электролитических конденсаторов, с выведенным на корпус электродом, как правило, отрицательным, необходимо корпус конденсатора изолировать от шасси.

7. При выполнении разборной конструкции блока необходимо следить за тем, чтобы крепежные и другие детали не препятствовали разборке блока.

8. На сборочном чертеже разрезы и сечения должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечивалось полное представление о всех элементах (функциональных узлах и крупных деталях) блока.

9. При выполнении кожуха следует помнить о его назначении и выбирать материал для его изготовления соответствующей толщины (0,5-1,0 мм).

10. При конструировании феррорезонансных стабилизаторов нельзя перекрывать немагнитный зазор магнитопровода ферромагнитной пленкой.

11. При установке деталей и измерительных приборов на съемной передней панели следует предусмотреть технологический запас по длине проводов, связывающих эти изделия с остальными, расположенными на шасси.

12. При закреплении резьбовым соединением деталей на панелях толщиной 1-1,5 мм следует пользоваться бонками, если использование гаек неприемлемо или неудобно с конструктивной точки зрения.

13. Особое внимание следует уделять обеспечению удобства разборки блока с целью профилактического осмотра и ремонта.

14. Блок электропитания должен быть снабжен соответствующими амортизаторами, если в процессе эксплуатации он подвергается механическим воздействиям.

2.4. Указания к разделу "Дополнительные данные"

2.4.1. Выбор измерительных приборов и выполнение экономической части проекта.

1. При выборе типа и конструктивного исполнения измерительных приборов следует учитывать условия эксплуатации блока электропитания. Применение брызго- и влагонепроницаемых приборов значительно удорожает стоимость блока и поэтому нецелесообразно в блоках, эксплуатируемых в лабораторных условиях.

2. При составлении ведомости на покупные изделия и материалы обязательно нужно указывать цены конкретных, выбранных разработчиком, приборов, деталей и т.д., руководствуясь Прейскурантами цен изделий и деталей, а также дополнениями к Прейскурантам.

Перечислим некоторые из Прейскурантов, используемых при курсовом проектировании:

1. № 01-02. Оптовые цены на сталь обыкновенного качества
2. № 01-03. " " на качественную сталь
3. № 01-05. " " на металлоизделия промышленного назначения
4. № 05-08 " " на резиновые технические детали и изделия
5. № 15-09 " " на кабельные изделия
6. № 15-10 " " на электроизоляционные изделия
7. № 17-01 " " на приборы электроизмерительные общего назначения
8. № 17-02 " " на приборы радиотехнические измерительные общего назначения
9. № 36-05 " " на радиодетали общего назначения (конденсаторы, резисторы и др.)
10. № 36-06 " " на радиокомпоненты (переключатели, резисторы, трансформаторы, дроссели и т.д.)
- * 11. № 36-07 " " на электровакуумные приборы
12. № 36-08 " " на полупроводниковые приборы

При пользовании прейскурантами имеет смысл также выписывать номера ГОСТ или ТУ данного изделия, а также его массу и габаритные размеры, указываемые в прейскурантах.

2.4.2. Расчет надежности блока электропитания.

Надежность - это способность системы (элемента), в нашем случае, блока электропитания, выполнять заданные функции в обусловленных условиях эксплуатации в течение заданного времени при сохранении основных и второстепенных параметров в установленных пределах.

Количественно надежность оценивается вероятностными характеристиками и параметрами [11].

Для численного определения показателя надежности источников электропитания по безусловным отказам на практике обычно используются два критерия: вероятность безотказной работы в течение заданного интервала времени $P(t_s)$ и средний период отказов

$T_{ср}$, или среднее время безотказной работы (параметр $T_{ср}$ по последней формулировке оговорен в техническом задании на блок

электропитания, см. указания к разделу I).

Между собой $P(t_s)$ и $T_{ср}$ связаны зависимостью

$$P(t) = \exp(-t/T_{ср})$$

Параметр $T_{ср}$ определяется

$$T_{ср} = 1 / \sum_{i=1}^m \lambda_i N_i,$$

где N_i — количество однотипных элементов, работающих в одинаковых (близких) режимах;

λ_i — интенсивность отказов однотипных элементов при обусловленных условиях эксплуатации;

m — число типов элементов, входящих в блок.

В методике, приведенной в [11], параметр λ_i умножается на поправочный коэффициент γ , величина которого составляет:

для береговой аппаратуры — 10,

для судовой — 30,

для самолетной — 200.

Для определения $T_{ср}$ составляются таблицы интенсивности отказов по всем элементам, вычисляется суммарная интенсивность отказов по всем элементам с учетом условий эксплуатации и вычисляется параметр $\gamma \sum_{i=1}^m \lambda_i N_i$.

В книге [5] приведена методика расчета надежности с учетом зависимости величины интенсивности отказов и учетом коэффициентов нагрузки элементов при различной температуре окружающей среды и построены соответствующие графики, удобные для использования при расчете.

Следует обратить внимание на возможность расхождения значений интенсивности отказов для одних и тех же элементов, приводимых в различных литературных источниках. Это свидетельствует о различных условиях определения значений интенсивности отказов элементов. Поэтому при проектировании блока электропитания целесообразно пользоваться данными, приведенными в литературе по проектированию источников электропитания, причем не следует значения интенсивностей отказов, взятых из одних книг и брошюр, использовать при расчете по методике, изложенной в других пособиях. Расчет надежности надо от начала до конца выполнять по одному из выбранных пособий (Это же замечание относится и к выполнению других расчетов).

2.5. Указания к составлению заключения

(В дополнение к приведенным в разделе I настоящего пособия)

I. В заключении приводится ведомость соответствия спроектированного блока техническому заданию (ТЗ) по форме :

№ пп	Согласно ТЗ	Фактически получено	Примечание
---------	-------------	------------------------	------------

2. Приводятся данные общего к.п.д. блока; коэффициента мощности; полной мощности, потребляемой от сети габаритных размеров; массы; удельных характеристик, показывающих: отношение выходной мощности к об'ему блока (Вт/дм^3) и отношение выходной мощности к массе блока (Вт/кг).

В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В.1. Динамический и статический режимы работы источников электропитания

Источники вторичного электропитания подвержены в процессе работы дестабилизирующим воздействиям (факторам), вызывающим отклонения выходного напряжения от номинального значения $U_{ном}$.

Основными дестабилизирующими факторами при неизменных условиях окружающей среды и отсутствии механических воздействий являются: а) изменение входного напряжения источника электропитания $U_{вх}$ и б) изменение нагрузочного тока (I_H).

Для поддержания, при дестабилизирующих воздействиях, выходного напряжения на заданном уровне с заданной степенью точности (стабильностью) в источниках электропитания устанавливаются стабилизаторы напряжения. В источниках электропитания, в которых установлены стабилизаторы напряжения, качество выходного напряжения в основном определяется свойствами стабилизатора.

Лучшими стабилизирующими свойствами обладают компенсационные стабилизаторы напряжения. Структурная схема компенсационного стабилизатора приведена на рис.1. На схеме обозначены: регулирующий элемент (РЭ), на котором выделяются изменения входного напряжения; усилительный элемент (УЭ), управляющий работой РЭ усиленным сигналом рассогласования; элемент сравнения (ЭС), выделяющий сигнал рассогласования как разность между напряжением, вырабатываемым источником опорного напряжения (ИОН) и выходным напряжением, выделяемым измерительным элементом (ИЭ).

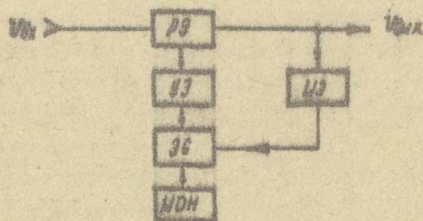


Рис.1. Структурная схема компенсационного стабилизатора напряжения

В зависимости от характера изменения дестабилизирующего воздействия режим работы стабилизатора может быть статическим или динамическим.

Статический режим работы стабилизатора имеет место :

- а) если длительность изменения во времени дестабилизирующего возмущения ($t_{\text{вз}}$) значительно превышает время установления переходных процессов ($t_{\text{уст}}$) тракта регулирования, или
- б) если высшая частота изменения дестабилизирующего воздействия, представляющего собой колебания со значениями частот, лежащими в широком диапазоне, значительно ниже граничной частоты тракта регулирования.

Другими словами, стабилизатор работает в статическом режиме если он оказывается практически безинерционным по отношению к дестабилизирующему воздействию, или на языке частотных представлений - если стабилизатор представляет собой систему со значительно более широкой полосой пропускания по сравнению с верхней граничной частотой спектра дестабилизирующего воздействия.

Последние определения иллюстрируют взаимную связь временных и частотных характеристик электронных систем.

Динамический режим работы стабилизатора наступает если длительность возмущающего воздействия меньше или сравнима со временем установления переходных процессов тракта регулирования; на языке частотных представлений - верхняя частота спектра возмущающего воздействия выше или сравнима с граничной частотой тракта регулирования.

Стабилизатор работает в динамическом режиме, если на его работе сказывается инерционность элементов тракта регулирования, или - ограниченность полосы пропускания тракта регулирования.

Очевидно, что в динамическом режиме работы из-за инерционности (ограниченности полосы пропускания) тракта регулирования стабилизатора по отношению к дестабилизирующим воздействиям свойства стабилизатора ухудшаются.

Рассмотрим более подробно динамические режимы работы стабилизаторов и характеризующие их параметры при дестабилизирующих воздействиях во входной и нагрузочной цепях.

В.И.И. Характеристики стабилизатора при изменении входного напряжения

Входное напряжение источника электропитания отклоняется от номинального значения в течение суток, времени года и т.п. Такого типа изменения являются "медленными". Под "медленными" изменениями входного напряжения в дальнейшем будем понимать изменения, происходящие на интервалах $t_{вх}$, значительно превышающих время установления переходных процессов в стабилизаторе $t_{пр}$. При медленных изменениях входного напряжения инерционность стабилизатора не сказывается, т.е. стабилизатор работает в статическом режиме.

Реакция стабилизатора на медленные изменения количественно оценивается интегральным коэффициентом стабилизации напряжения.

$$K_U = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} A_{ном}, \quad (3.1)$$

где $\Delta U_{вх}, \Delta U_{вых}$ — абсолютные изменения входного и выходного напряжений соответственно;

$A_{ном}$ — коэффициент передачи входного напряжения, равный отношению номинальных значений выходного ко входному напряжению $U_{ном} / U_{вх}$.

Однако при переходных процессах в энергетических системах, вызванных коммутацией больших групп потребителей электрической энергии, в аварийных режимах работы и т.д., входное напряжение источника вторичного электропитания может изменяться скачкообразно.

Кроме того, на выходе выпрямителя часто формируются импульсы напряжения, вызванные коммутационными процессами в вентиле выпрямителя.

Скачкообразные изменения напряжения на выходе выпрямителя несколько ослабляются сглаживающими фильтрами, однако короткие возмущения, формируемые высокочастотной частью спектра, фильтром не задерживаются. Это происходит вследствие наличия паразитных параметров в элементах фильтра. К таким параметрам относятся: паразитная емкость в дросселе фильтра и паразитная индуктивность в конденсаторе фильтра.

На рис.2 приведена схема источника электропитания с транзисторным компенсационным стабилизатором напряжения (ТСН) со вспомогательным источником питания цепи коллектора усилительного транзистора ТУ. На схеме фильтра показаны штриховой линией элементы, способствующие прохождению на выход ТСН скачкообразных возмущений входного напряжения.

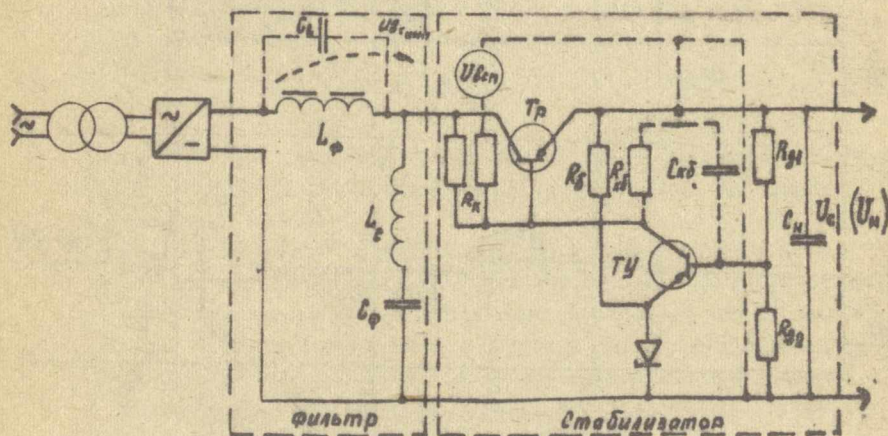


Рис.2. Схема источника электропитания с ТСН и сглаживающим фильтром

Описанные выше возмущения из-за инерционности (ограниченности полосы пропускания) тракта регулирования для них стабилизатором не отрабатываются, т.е. для этих дестабилизирующих факторов коэффициент стабилизации уменьшается до единицы.

Поясним сказанное с помощью временных диаграмм (осциллограмм) процессов, имеющих место при работе стабилизатора в режиме изменения входного напряжения, представленных на рис.3.

На интервалах $t_1 - t_2$ и $t_3 - t_4$ изменения входного напряжения происходят медленно.

Количественно величина изменения выходного напряжения на этих интервалах может быть найдена из выражения, вытекающего из определения коэффициента стабилизации

$$\Delta U_c = \Delta U_{вх} = \frac{\Delta U_{вх} \lambda_{ном}}{K_v} = \frac{\Delta U_{вх}}{K_{y\phi}}, \quad (8.2)$$

где K_y — коэффициент усиления цепи обратной связи ;
 σ — коэффициент передачи измерительного элемента (выходного делителя).

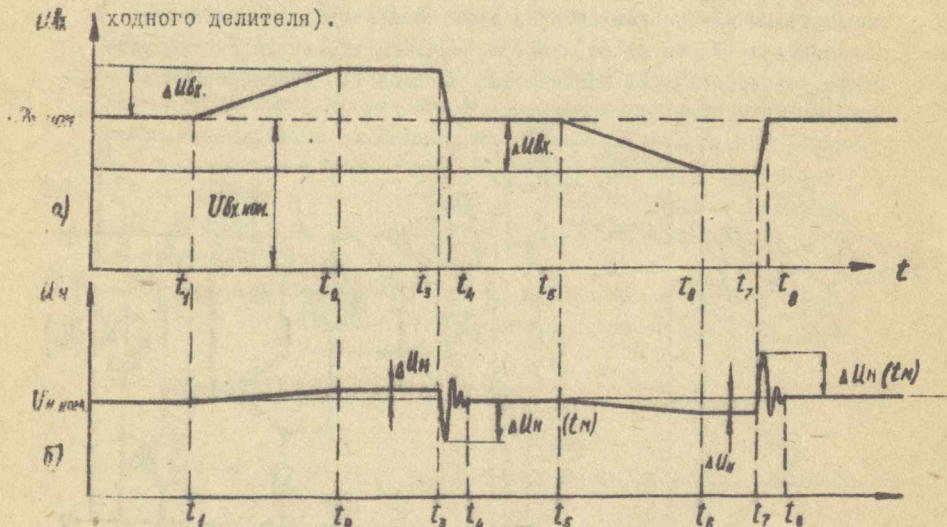


Рис.3. Осциллограммы входного (а) и выходного (б) напряжений стабилизатора напряжения

В моменты времени t_3 и t_7 появляются "быстрые" изменения входного напряжения, т.е. интервалы t_3-t_4 и t_7-t_8 меньше, чем время установления переходных процессов $t_{уст}$. При этом стабилизатор не может мгновенно отреагировать на эти возмущения вследствие инерционности (конечного времени протекания) носителей электрического тока.

На выходе стабилизатора появляются всплески напряжения, близкие по величине к изменениям входного напряжения $\Delta U_{вх}$ (рис.3б).

Таким образом, "быстрые" возмущения попадают на выход и лишь по мере установления переходных процессов в элементах тракта регулирования стабилизатор их отрабатывает.

3.1.2. Характеристики стабилизатора при изменении нагрузки

При изменении нагрузки выходное напряжение изменяется из-за изменения падения напряжения на внутреннем (выходном) сопротивлении стабилизатора.

При "медленных" изменениях нагрузки реакция стабилизатора на них оценивается по величине выходного (статического) сопротивления $R_{вых}$ и величине изменения нагрузки ΔI_N .

$$\Delta U_N = \Delta U_c = -\Delta I_N R_{вых}. \quad (3.3)$$

Выражение (3.3) получено из уравнения внешней (нагрузочной) характеристики источника электропитания

$$U_N = U_c = E_c - i_N R_{вых}. \quad (3.4)$$

Знак "-" в выражении (3.3) указывает на то, что приросты ΔI_N и $\Delta U_N (\Delta U_c)$ имеют противоположный характер, т.е. рост I_N приводит к уменьшению $(U_c) U_N$.

При работе целого ряда устройств потребление тока от источников электропитания может иметь скачкообразный или импульсный характер (например, при работе мощных электронных ключей, запоминающих устройств ЭВМ, аналого-цифровых преобразователей информации и т.п.) или гармонический со значениями частот, лежащими в широком диапазоне (например, мощный каскад усиления звуковых, ультразвуковых частот, измерительные усилители, аналоговые системы обработки сигналов и т.д.).

На рис.4 показаны осциллограммы изменения нагрузки в виде медленных изменений (интервалы t_1-t_2 и t_7-t_8) и быстрых (интервалы t_3-t_4 , t_5-t_6). На интервалах медленных изменений величина изменения выходного напряжения соответствует значению согласно выражению (3.3).

На интервалах быстрых изменений отклонения выходного напряжения значительно превышают предписываемые формулой (3.3), что свидетельствует об увеличении выходного сопротивления в области высоких частот, формирующих также фронт быстрого возмущающего воздействия.

На рис.5 показаны временные диаграммы (осциллограммы) гармонических ¹⁾ изменений нагрузки на частоте f_1 , значительно мень-

¹⁾Здесь и ниже под терминами "гармонические и частотномодулированные изменения нагрузки" имеется в виду переменная составляющая постоянного тока нагрузочной цепи.

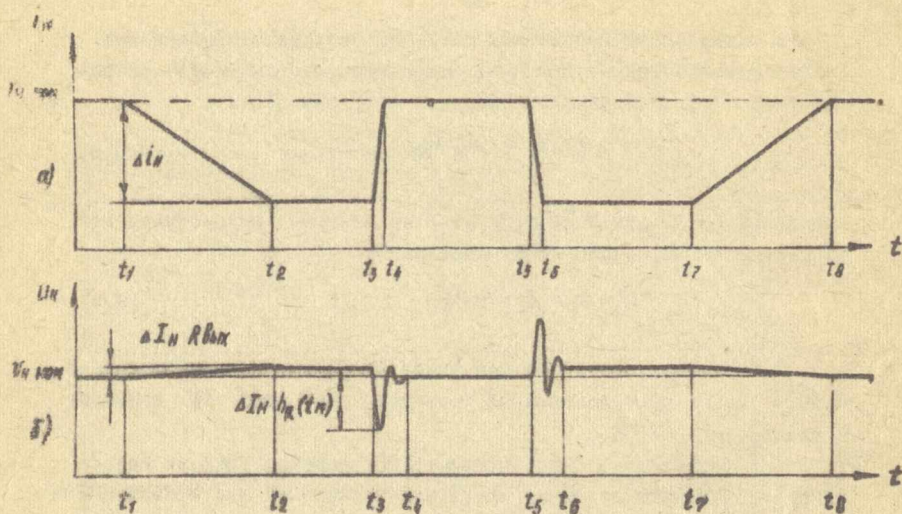


Рис. 4. Осциллограммы изменения нагрузки (а) и соответствующих изменений выходного напряжения (б) стабилизатора напряжения.

ной граничной частоты тракта регулирования f_p и на частоте f_z , превышающей f_p .

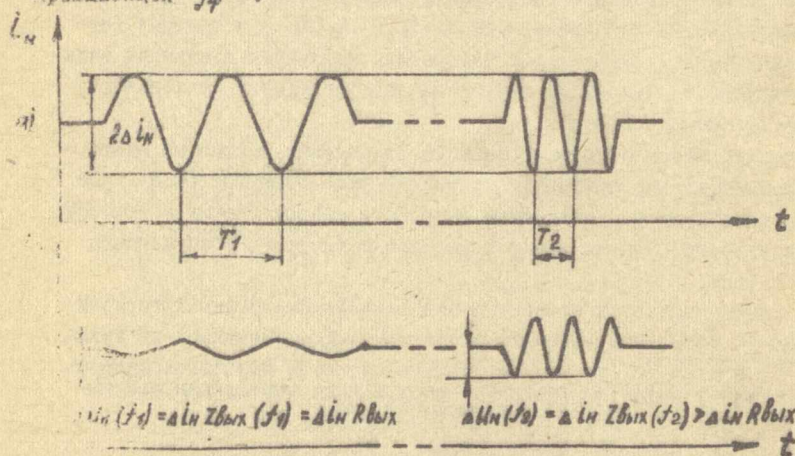


Рис. 5. Осциллограммы гармонического изменения нагрузочного тока (а) и соответствующих им изменений выходного напряжения (б).

Из рис.5 видно, что выходное сопротивление стабилизатора имеет частотнозависимый характер, что приводит к изменению свойств стабилизатора в динамическом режиме работы.

Так как динамические возмущения в нагрузочной цепи могут происходить во времени (скачки и импульсы) и по частоте изменения нагрузочного тока, то имеет смысл ввести соответствующие динамические характеристики.

3.2. Параметры динамических характеристик

Для описания и количественной оценки динамических свойств стабилизаторов напряжения вводят специальные параметры (характеристики), так как коэффициент стабилизации и статическое выходное сопротивление не отражают динамические свойства ТСН.

Для описания реакции стабилизаторов на скачкообразные возмущения во входной и нагрузочных цепях используются переходные характеристики соответственно коэффициента передачи входного напряжения стабилизатора ($h_v(t) = U_c(t) : U_{cx}(t)$) и переходные характеристики выходного сопротивления ТСН ($h_R(t) = U_c(t) : i_n(t)$).

В качестве испытательных (определяющих) сигналов служат :

- для определения переходной характеристики входного напряжения — единичный скачок входного напряжения $U_{cx}(t) = 1(t)$;
- для определения переходной характеристики выходного сопротивления —

единичный скачок нагрузочного тока $i_n(t) = 1(t)$.

Для описания работы стабилизатора при частотномодулированном изменении используется зависимость выходного сопротивления стабилизатора от частоты. Эта зависимость строится как отношение переменной составляющей выходного напряжения на частоте изменения нагрузки к величине переменной составляющей нагрузки, вызвавшей указанное изменение напряжения.

3.2.1. Переходные характеристики.

Переходные характеристики в зависимости от динамических свойств ТСН могут иметь вид, представленный на рис.6. Их называют соответственно: колебательной, монотонной, аperiodической.

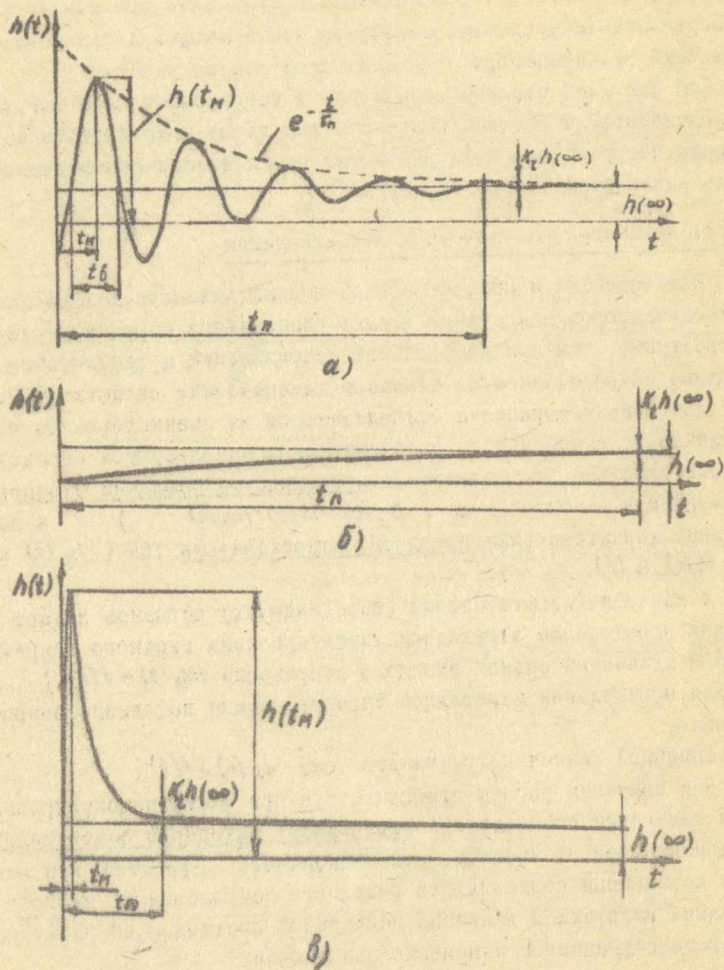


Рис. 6. переходные характеристики ТЧН: колебательная (а),
монотонная (б), аperiodическая (в).

Такого типа переходные характеристики имеют место при наличии двух реактивных параметров. В общем случае переходные характеристики могут быть более сложными из-за большего, чем два реактивных параметра (элемента) ТОН. Однако, ввиду преобладания, как правило, одного, двух реактивных параметров ТОН над остальными, с достаточной для практики точностью можно пользоваться приведенной классификацией.

Количественная оценка динамических свойств ТОН при скачкообразных возмущениях производится по следующим параметрам переходных характеристик (количество параметров приведено больше, чем обусловлено ГОСТ 19164-73):

А. Колебательной

- | | | |
|--|-----|-----------|
| 1. Максимальный выброс ¹⁾ (см. стр. 86) | ... | $h(t_n)$ |
| 2. Длительность процесса ²⁾ (см. стр. 86) | ... | t_n |
| 3. Число осцилляций за время t_n | ... | n_{osc} |
| 4. Длительность максимального выброса | ... | t_g |
| 5. Постоянная времени процесса | ... | τ_n |
| 6. Частота осцилляций | ... | f_{osc} |

Б. Монотонной

- | | | |
|--------------------------------|-----|----------|
| 1. Длительность процесса | ... | t_n |
| 2. Постоянная времени процесса | ... | τ_n |

В. Аperiodической

- | | | |
|--|-----|----------|
| 1. Амплитуда максимального выброса ¹⁾ (см. стр. 86) | ... | $h(t_n)$ |
| 2. Длительность процесса ²⁾ (см. стр. 86) | ... | t_n |
| 3. Время достижения максимума | ... | t_m |

3.2.2. Частотные характеристики

Количественная оценка динамических свойств ТОН для описания работы в режимах частотномодулированных или гармонических со значениями частот изменения нагрузки, лежащими в широком диапазоне, производится по параметрам частотной зависимости выходного сопротивления стабилизатора от частоты изменения нагрузки (рис. 7, часть II):

- | | | |
|---|-----|-------------------|
| 1. Максимальное значение модуля выходного сопротивления стабилизатора | ... | $X_{z. max}(f_c)$ |
| 2. Значение частоты максимума $X_{z. max}$ | ... | $f_{c. max}$ |

Для некоторых случаев (например, оценки устойчивости) представляет определенный интерес фазовая характеристика выходного сопротивления.

$Z_{вых}$

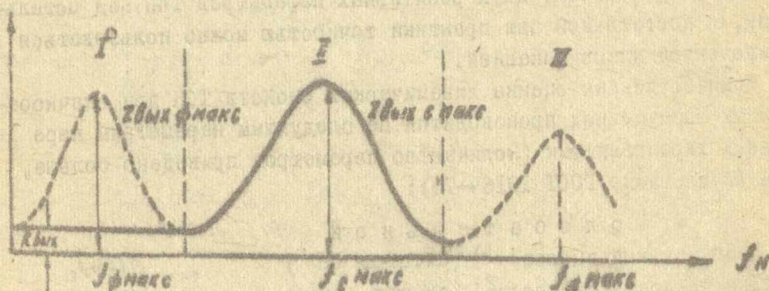


Рис. 7. Зависимость выходного сопротивления источника электропитания от частоты изменения нагрузочного тока

Динамические свойства собственно стабилизатора проявляются в области II. Для стабилизаторов, выполненных с применением низкочастотных транзисторов эта область лежит в диапазоне единицы кГц; для стабилизаторов с применением высокочастотных транзисторов в диапазоне десятки-сотни кГц.

В области II выходное сопротивление стабилизатора в начале увеличивается из-за уменьшения коэффициентов усиления транзисторов с ростом частоты сигнала ошибки (в соответствии с частотой изменения нагрузочного тока). По мере роста выходного сопротивления активной (транзисторной) части стабилизатора начинает более существенно влиять на величину выходного сопротивления ТСН импеданс выходного конденсатора Z_H (рис. 2), оказывая шунтирующее действие. Правее точки $f_{H макс}$ выходное сопротивление стабилизатора полностью определяется сопротивлением его выходного конденсатора.

В этой области стабилизатор можно представить элементом, обладающим свойством индуктивности (до значения частоты изменения

нагрузки f_a (мкго), а затем элементом емкостным.

Таким образом, выходное сопротивление стабилизатора можно представить в виде параллельного LC - контура с потерями. Переходная характеристика LC - контура имеет вид, представленный на рис.6, что соответствует сделанному выше допущению о преобладающем влиянии двух реактивных параметров стабилизатора. Одним из этих параметров является емкость выходного конденсатора, второй обусловлен частотными свойствами транзисторов регулирующего или усилительного каскадов стабилизатора.

На рис.7 отмечены еще две области I и III, которые характеризуют динамические свойства источника электропитания в целом. Поясним зависимость $X_{вых}(f_n)$ в этих областях.

Подъем и спад выходного сопротивления источника электропитания в области I (единицы и десятки Гц) обусловлен резонансными свойствами сглаживающего LC - фильтра (при сглаживающем фильтре емкостном или транзисторном в области I выходное сопротивление практически соответствует зависимости, показанной сплошной линией). Из-за резонансных свойств LC фильтра при изменении нагрузки с частотами в области I выходное сопротивление фильтра возрастает, что приводит к возрастанию выходного сопротивления источника электропитания. Но реактивный характер LC фильтра практически не сказывается на $X_{вых}(f_n)$ при использовании ТСН со вспомогательным источником питания цепи коллектора усилительного транзистора.

В области III (десятки, сотни кГц) начинают проявляться паразитные параметры выходного конденсатора (паразитная индуктивность) и паразитные параметры проводов, соединяющих выход стабилизатора с потребителем. Это приводит к возрастанию выходного сопротивления источника электропитания и что особенно важно - непосредственно на шинах питания функционального узла.

Часто на шинах питания у потребителя устанавливается, так называемый, буферный конденсатор. В некоторых случаях могут проявиться резонансные свойства цепи соединительная линия - буферный конденсатор, что приведет к появлению максимума $X_{вых}$ на частоте $f_n = f_{линии}$. Эти свойства источника электропитания также должны учитываться при проектировании электронных систем.

В следующем разделе приведена методика расчета динамических характеристик только ТСН, т.е. рассматривается область II.

Расчет $\chi_{\text{вых}}(f_n)$ в области I можно выполнить исполь-
зуя формулы для $\chi_{\text{вых}}$ соответствующего типа ТСН.

Расчет $\chi_{\text{вых}}(f_n)$ в области III выходит за рамки дан-
ного пособия.

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Значения $h_v(t_n)$, полученные в относительных
единицах, могут быть представлены в абсолютных
единицах при умножении на номинальное значение выход-
ного напряжения; значения $h_n(t_n)$ дополнитель-
но требуют деления на IА.

2. Критерием длительности процесса является дос-
тижение значения параметра $h(t)$, обусловленно-
го уровня $K_e h(\infty)$, где K_e коэффициент, по-
казывающий какую часть обусловленное значение
 $h(t)$ составляет от установившегося $h(\infty)$.

4. РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В разделе приведена методика расчета динамических характеристик ТСН, спроектированных по [7], исходя из обеспечения заданных статических параметров.

Следует отметить, что разработка методики, позволяющей рассчитывать ТСН с заданными динамическими свойствами, затруднена из-за большого числа факторов, влияющих на динамические параметры ТСН.

К ним относятся - зависимость параметров транзисторов от частоты сигнала и режима, зависимость величины емкости электролитических конденсаторов от частоты и температуры; влияние индуктивности монтажных и соединительных проводов и проч.

Однако на практике часто достаточно при проектировании ТСН с обусловленными динамическими свойствами выбрать для каскадов стабилизатора среднечастотные транзисторы, а затем выполнить проверочный расчет.

Одна из возможных методик такого расчета приведена ниже.

4.1. Расчет динамических характеристик ТСН при изменении нагрузки

4.1.1. Параметры регулирующего и усилительного каскадов ТСН х)

1. Уточняем рабочие режимы транзисторов, входящих в составной (рис.8). Для этого выписываем из справочных данных или берем из расчета статического режима значения коэффициентов η_{212} .

х) Некоторые из определяемых ниже параметров могут быть непосредственно заимствованы из расчета статического режима ТСН, выполненного по методике [7].

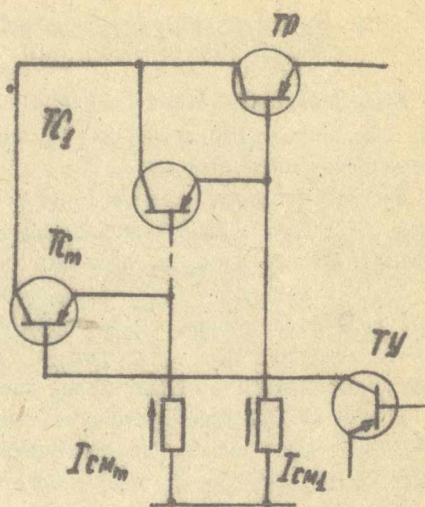


Рис. 8. Регулирующий каскад ТСН в виде составного транзистора

Уточняем значения рабочих токов транзисторов

Ток ТР

$$I_{ap} = I_n + I_{cm} + I_{дел}$$

Ток ТC₁

$$I_{зс1} = \frac{I_{ap}}{h_{21ap}} + I_{см1}, \quad (4.1)$$

Ток ТC_m

$$I_{зсм} = \frac{I_{зсм-1}}{h_{21зм-1}} + I_{смm}$$

где I_n - нагрузочный ток ;

$I_{дел}$ - ток выходного делителя ;

$I_{ст}$ - ток опорного стабилитрона ;

$I_{см}$ - ток смещения (для мощных транзисторов $I_{см} \approx 10-15 \mu A$; средней мощности $5-8 \mu A$; маломощных - $1-2 \mu A$).

2. Определяем сопротивления эмиттеров каждого из транзисторов, входящих в составной

$$z_{gi} = \frac{25}{I_{gi}} 10^{-3} \quad (4.2)$$

3. Определяем сопротивление базы и коллектора транзисторов из табл.1.

4. Определяем эквивалентное сопротивление коллектора двойного составного транзистора, состоящего из двух транзисторов, ближайших к усилительному

$$z_{k\bar{m}} = \frac{z_{kcm} \cdot z_{kcm-1}}{h_{21cm} + z_{kcm-1}} \quad (4.3)$$

где индекс m - это номер согласующего транзистора, ближайшего к усилительному транзистору.

5. Определяем сопротивление эмиттера двойного составного транзистора

$$z_{e\bar{m}} = z_{ecm-1} + \frac{z_{ecm} + z_{ecm-1}}{h_{21ecm-1}} \cdot \frac{z_{ke}}{z_{kcm}} \quad (4.4)$$

6. Определяем сопротивление базы двойного составного транзистора

$$z_{b\bar{m}} = z_{bcm} + (z_{ecm} + z_{ecm-1}) \frac{z_{ke}}{z_{kcm-1}} \quad (4.5)$$

7. Определяем коэффициент передачи эмиттерного тока двойного транзистора

$$h_{21e\bar{m}} = h_{21ecm} \cdot h_{21ecm-1} \quad (4.6)$$

8. Далее, заменив транзисторы TC_m и TC_{m-1} одним $TC_{\bar{m}}$ с параметрами $z_{k\bar{m}}$, $z_{e\bar{m}}$, $z_{b\bar{m}}$, $h_{21e\bar{m}}$, определяем параметры нового двойного транзистора, образованного парой $TC_{\bar{m}}$ и TC_{m-2} или TP если $m = 2$, где m - число согласующих транзисторов.

В последнем случае получим эквивалентные параметры всего регулирующего каскада, которые обозначим $z_{k\bar{z}}$, $z_{e\bar{z}}$,

$$z_{b\bar{z}}, h_{21e\bar{z}}.$$

Таблица I

Ориентировочные параметры транзисторов

Тип транзистора	$I_{\kappa},$ А	$h_{21э}$	$z_{\kappa},$ кОм	$(z_{\delta}/z_{\kappa}) \cdot 10^{-3}$
П210	1	25 - 100	2 - 5	1 - 2
	2	15 - 70	1 - 2	0,5 - 1,5
	5	10 - 50	0,5 - 1,5	0,3 - 1,0
П216 - П217	0,1	20 - 100	10 - 30	1 - 2
П201 - П203	0,5	15 - 70	5 - 10	0,5 - 1,5
П214, П215	1	10 - 50	2 - 5	0,5 - 1,0
ИТ403	0,01	25 - 100	50 - 200	1 - 2
	0,05	20 - 70	15 - 50	0,5 - 1,5
	0,1	10 - 50	10 - 30	0,5 - 1,0
МП39 - МП42	0,001	20 - 100	100 - 2000	1 - 2
	0,005	15 - 100	200 - 600	0,5 - 1,5
	0,01	10 - 80	100 - 300	0,5 - 1,0

9. Принимаем величину емкости коллекторного перехода регулирующего каскада равной емкости коллекторного перехода ТР (ориентировочно $C_{к\phi} \approx 100 \text{ пф}$).

10. Определяем коэффициент усиления ТУ (с учетом коэффициента передачи выходного делителя).

$$K_y = \frac{h_{21\delta y} R_{\kappa} \sigma}{R_{\delta y} + (R_r + z_{\delta y})(1 - h_{21\delta y}) + \frac{R_{\kappa}}{z_{\kappa y}} (R_r + z_{\delta y} + R_{\delta y})}, \quad (4.7)$$

где $R_r = \frac{R_{1\phi} \cdot R_{2\phi}}{R_{1\phi} + R_{2\phi}}$; $R_{\delta y} = z_{\delta y} + R_{\sigma}$
 $R_{1\phi}$ и $R_{2\phi}$ - сопротивление верхнего и нижнего плеч выходного делителя;

σ - коэффициент передачи выходного делителя

$$G = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{e2}}, \quad (4.8)$$

R_{e1} - дифференциальное сопротивление опорного стабилизатора (берем из предыдущего расчета ТЕН или из операционника).

Z_{ky} и Z_{ky} - сопротивления; базы и коллекторного перехода ТУ;

$$h_{21dy} = \frac{h_{21dy}}{h_{21dy} + 1}.$$

II. Определяем постоянные времени регулирующего каскада :

а) для включения каскада по схеме ОК

$$\tau_{зв}^{ок} = \tau_{h_{212H4}}, \quad (4.9)$$

где $\tau_{h_{212H4}}$ - постоянная времени наиболее низкочастотного транзистора вычисляется по формуле

$$\tau_{h_{212H4}} = \frac{h_{212}}{2\pi f_{h_{212}}};$$

Здесь $f_{h_{212}}$ - граничная частота усиления тока этого транзистора;

б) для включения каскада по схеме инверсной ОБ

$$\tau_{зв}^{об} = \frac{1}{\omega_1}, \quad (4.10)$$

где ω_1 значение частоты излома логарифмической частотной характеристики (ЛАЧХ). ω_{100} из таблицы 2 соответственно для конкретных случаев использования в паре ТР и ТОИ транзисторов со значительно отличающимися значениями граничных частот усиления тока; если же граничные частоты совпадают или близки, то

$$\tau_{зв}^{об} = \frac{h_{212}}{2\pi f_{h_{212}}}. \quad (4.11)$$

Таблица 2

Значения частот изломов ЛАЧХ выходного сопротивления
ТСН₀ (рис. 9)

Значения частот и их гд-ва ТР и ТС	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
ТР-НЧ ТС-ВЧ	$\frac{\omega_{h_{21}\delta p}^H \cdot \hat{z}_{\text{вых1}}^H}{\hat{z}_{\text{вых1}}^H}$	$\omega_{h_{21}\delta p}^H$	$\frac{\omega_{h_{21}\delta c}^H \cdot \hat{z}_{\text{вых1}}^H}{\hat{z}_{\text{вых2}}^H}$	$\omega_{h_{21}\delta c}^B$
ТР-ВЧ ТС-НЧ	$\frac{\omega_{h_{21}\delta c}^H \cdot \hat{z}_{\text{вых2}}^B}{\hat{z}_{\text{вых1}}^B}$	$\omega_{h_{21}\delta c}^H$	$\frac{\omega_{h_{21}\delta p}^B \cdot \hat{z}_{\text{вых1}}^B}{\hat{z}_{\text{вых2}}^B}$	$\omega_{h_{21}\delta c}^B$

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Индексы "Н" и "В" характеризуют соответственно низкочастотные и высокочастотные проходные транзисторы. 2. В таблице обозначены

$$\hat{z}_{\text{вых1}}^H = \hat{z}_{\text{эp}} + \hat{z}_{\delta p} + \hat{z}_{\text{эc}} + \hat{z}_{\delta c} (1 - h_{21}\delta c),$$

$$\hat{z}_{\text{вых1}}^B = \hat{z}_{\text{эp}} + (1 - h_{21}\delta p) (\hat{z}_{\delta p} + \hat{z}_{\text{эc}} + \hat{z}_{\delta c}),$$

$$\hat{z}_{\text{вых2}}^H = \hat{z}_{\text{эp}} + \hat{z}_{\delta p} + \hat{z}_{\text{эc}} + \hat{z}_{\delta c},$$

$$\hat{z}_{\text{вых0}} = \hat{z}_{\text{эp}} + (1 - h_{21}\delta p) [\hat{z}_{\delta p} + \hat{z}_{\text{эc}} + \hat{z}_{\delta c} (1 - h_{21}\delta c)].$$

12. Определяем постоянную времени усилительного каскада.

$$\tau_y = \tau_{h_{21}\delta y} + \tau_{ky}, \quad (4.12)$$

$$\text{где } \tau_{ky} = C_{ky} R_k, \quad \tau_{h_{21}\delta y} = \frac{h_{21}\delta y}{2\pi f_{h_{21}\delta y}}.$$

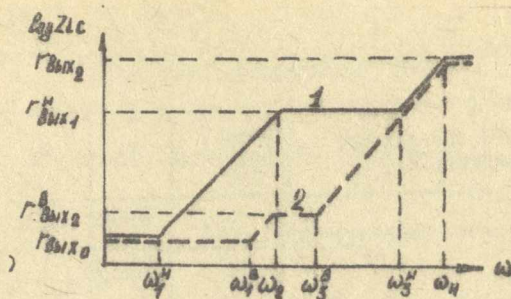


Рис. 9. ЛАЧХ $Z_{вых}$ ТСН при различных по частотным свойствам ТР и ТС.
Кривая 1 - ТР-НЧ, ТС-ВЧ
Кривая 2 - ТР-ВЧ, ТС-НЧ.

13. Определяем выходное сопротивление регулирующего каскада

$$Z_{вых \Sigma} = Z_{э \Sigma} + \frac{Z_{э \Sigma} + R_y}{h_{21 \Sigma}}, \quad (4.13)$$

где R_y - выходное сопротивление усилительного транзистора, равное примерно сопротивлению резистора в цепи коллектора R_K .

4.1.2. Параметры контура, моделирующего выходное сопротивление Т С Н

1. Рассчитываем по данным таблицы 3 для соответствующего типа ТСН группу параметров контура, моделирующего выходное сопротивление (рис. 10) с учетом частотнозависимых свойств только регулирующего каскада (первые строки соответствующих граф таблицы 3)-(4.14). В качестве параметра $\tau_{h_{21 \Sigma}} = \tau_{21 \Sigma}^{00}$ используем вычисления по (4.10) или (4.11).

2. Рассчитываем вторую группу параметров, полученную с учетом частотно-зависимых свойств усилительного каскада ТСН (вторые строки соответствующих типов стабилизаторов граф таблицы 3)-(4.15).

Таблица 3

Параметры эквивалентной схемы выходного сопротивления ТОН (приближенные значения)

№ п/п	Тип ТОН (по способу питания ТУ)	Реакт. параметр ТОН	R_{12}	R_{22}	L_2
1.	От основного выпрямителя	$H_{21бр}$	$\frac{z'_{вкл} + R_0}{K_y}$	$\frac{R'_y}{K_y}$	$\tau_{H_{21бр}} \frac{R'_y}{K_y}$
		K_y	$\frac{z'_{вкл} + R_0}{K_y}$	$z'_{вкл} + R_0$	$\tau_y \frac{z'_{вкл} + R_0}{K_y}$
2.	От вспомогательного источника, второй полюс которого подключен к потенциальной шине	$H_{21бр}$	$\frac{z'_{вкл}}{K_y}$	z_k	$\tau_{H_{21бр}} \frac{R'_y}{K_y}$
		K_y	$\frac{z'_{вкл}}{K_y}$	$z_k \frac{z'_{вкл}}{R_y}$	$\tau_y \frac{z'_{вкл}}{K_y}$
3.	От вспомогательного источника, второй полюс которого подключен к общей шине	$H_{21бр}$	$\frac{z'_{вкл}}{K_y}$	$\frac{R'_y}{K_y}$	$\tau_{H_{21бр}} \frac{R'_y}{K_y}$
		K_y	$\frac{z'_{вкл}}{K_y}$	$z'_{вкл}$	$\tau_y \frac{z'_{вкл}}{K_y}$

$R'_y = R_y + z_{др}$, где R_y - выходное сопротивление ТУ ($\approx R_k$)

$z'_{вкл} = z_0 + R'_y(1 - H_{21бр})$, R_0 - сопротивление выпрямителя с учетом дросселя фильтра.

3. Для последующих расчетов выбираем группу параметров, в которой отношение R_{12}/L_2 меньше по величине. Это отношение характеризует частоту первого излома - ЛАЧХ выходного сопротивления ТОН (с этого значения частоты начинается падение $z_{вкл}(f_n)$, т.е. начинают проявляться индуктивные свойства ТОН).

4. Определяем величину емкости выходного конденсатора:

4а) если оговорены требования к обеспечению монотонного переходного процесса при скачкообразном изменении нагрузки (или отсутствию "резонанса" в области П при частотнодулированном изменении нагрузки), то

$$C_n = C_{вкл} > \frac{4L_2}{R_{12}}; \quad (4.16)$$

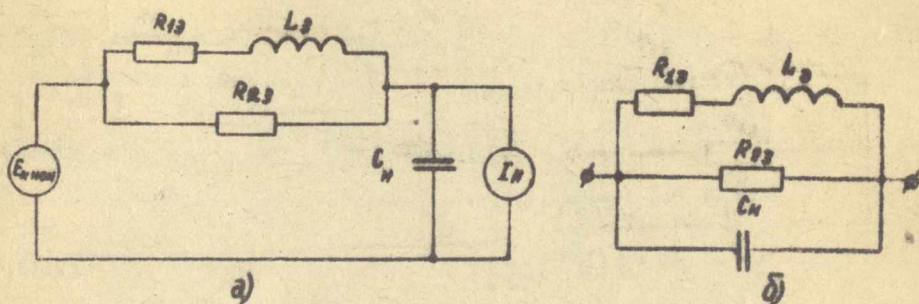


Рис. 10. Эквивалентные схемы: а) ТСН; б) выходного сопротивления ТСН с представлением выходного сопротивления в виде LC контура.

— при скачкообразном изменении входного напряжения

$$C_n \geq \frac{4R_0 C_n (2\delta_1 + R_n)(R_n + 2\delta_{m2})}{R_n 2\delta_{m2}}, \quad (4.17)$$

где R_0 — сопротивление выпрямителя и дросселя фильтра;

4б) исходя из обеспечения устойчивости работы ТСН.

$$C_n > \frac{\epsilon_{h2130} \epsilon_y}{(\epsilon_{h2130} + \epsilon_y) R_{d1}}, \quad (4.18)$$

Здесь $R_{d1} = R_{12}$.

Для дальнейших расчетов при условии 4а выбираем соответствующее значение C_n , если эти условия не оговорены, то выбираем

C_n исходя из (4.18) 4б. — (4.19)

(Естественно, что если C_n из (4.18) больше, чем из (4.16), (4.17), то выбирается большее значение C_n).

5. Определяем вспомогательные параметры контура:

а) волновое сопротивление

$$\rho = \sqrt{L_2 : C_n}, \quad (4.20)$$

б) добротность

$$Q = \frac{P}{R_{12} + \frac{P^2}{R_{22}}} , \quad (4.21)$$

в) резонансная частота

$$\omega_p = \sqrt{\omega_o^2 \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{22}}\right) - \alpha^2} , \quad (4.22)$$

где $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_H}} ,$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{R_{12}}{L_2} + \frac{1}{R_{22} C_H} \right) . \quad (4.23)$$

4.1.3. Переходная характеристика выходного сопротивления ТСН

1. Уточняем вид переходной характеристики:

а) если выполняется условие (4.16) – переходная характеристика является монотонной (рис.6б) –

б) если выполняется условие

$$C_H < \frac{L_2}{4R_{22}^2} , \quad (4.24)$$

то переходная характеристика является аperiodической (рис.6в);

в) если C_H лежит в пределах значений, рассчитанных по (4.16) и (4.24), то переходная характеристика является колебательной (рис.6а).

2. Рассчитываем параметры переходных характеристик:

а) для монотонной переходной характеристики :

1) постоянную времени

$$\tau_n = \frac{1}{\alpha - \beta} , \quad (4.25)$$

где $\beta = \sqrt{\alpha^2 - \omega_o^2} ,$

(4.26)

здесь α из (4.23); $\omega_o = \omega_o \sqrt{1 + \frac{R_{12}}{R_{22}}} ;$

(4.27)

где ω_o из (4.22);

2) Длительность процесса

$$t_n = \tau_n \ln \frac{1}{K_t} ; \quad (4.28)$$

б) для аperiodической переходной характеристики :

1. время достижения максимума $h(t)$

$$t_M = \frac{L_1 \frac{\alpha + \beta}{\alpha \beta}}{\alpha \beta}, \quad (4.29)$$

2. величину максимума $h(t)$

$$h(t_M) = R_{12} \left[1 + \frac{R_{22}}{R_{12}} (e^{-(\alpha + \beta)t_M} - e^{-(\alpha - \beta)t_M}) \right], \quad (4.30)$$

3. длительность спадающей ветви $h(t)$

$$t_{n2} = \frac{L_1 \frac{R_{22}}{R_{12}}}{\alpha - \beta}, \quad (4.31)$$

здесь : K_t - допустимое отклонение от $R_{\text{нз}}$;

в) для колебательной переходной характеристики, которая имеет вид :

$$h_n(t) = R_{12} [1 + e^{-\alpha t} B \sin(\omega_p t + \psi)], \quad (4.32)$$

где

$$B = \sqrt{\left(\frac{1 - \alpha T_H}{T_H \omega_{01}} \right)^2 + 1}, \quad (4.33)$$

$$\psi = -\arctg \frac{\omega_p T_H}{1 - \alpha T_H}, \quad (4.34)$$

здесь: $T_H = R_{12} L_1$,

1) момент времени t , при котором $h(t)$ имеет первый максимум

$$t_M = \frac{\arctg \frac{\omega_p}{\alpha} - \psi}{\omega_p}; \quad (4.35)$$

ψ вычисляем по (4.34),

2) максимум $h(t)$ по (4.32) с подстановкой t_M из (4.29).

3) максимальную длительность выброса

$$t_B = \frac{\pi}{\omega_p}; \quad (4.36)$$

4) длительность переходного процесса

$$t_n = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{B}{K_t} \quad (4.37)$$

б) число осцилляций за время t_n

$$n = \frac{t_n}{t_s} \quad (4.38)$$

(округляем до ближайшего целого значения),

б) максимальное значение амплитуды изменения нагрузочного тока, при котором ТР работает без отсечки.

$$\Delta I_M < I_{ном} e^{-\frac{x}{4\sigma^2-1}}, \quad (4.39)$$

здесь: $I_{ном}$ — максимальный номинальный ток, отобразимый от стабилизатора.

В. Задавая ряд значений текущего времени строим переходную характеристику ТСН.

4.1.4. Частотная характеристика выходного сопротивления ТСН.

1. Проверяем частоту резонанса сглаживающего LC фильтра для 50 Гц

$$f_{р. макс} = \frac{m f_c}{\sqrt{K_p - 1}}, \quad (4.40)$$

где: m — число пульсаций выпрямителя;

f_c — частота сети;

K_p — коэффициент фильтрации сглаживающего фильтра (берется из расчета статического режима ТСН).

Если нижняя частота спектра нагрузки лежит вблизи $f_{р. макс}$, то нужно либо отказаться от LC — фильтра, либо увеличив K_p , что достигается увеличением L или C , сместить $f_{р. макс}$ на допустимый интервал.

2. Рассчитываем частоту $f_{с. макс}$

$$f_{с. макс} = \frac{\omega_p}{2\pi}, \quad (4.41)$$

ω_p из (4.22).

3. Зависимость модуля выходного импеданса ТСН от частоты:

$$|Z(j\omega)| = \sqrt{\frac{R_{12}^2 + (\frac{\omega}{\omega_0} \rho)^2}{(1 + \frac{R_{22}}{R_{23}} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + \omega^2 (\frac{\rho}{\omega_0 R_{23}} + \frac{R_{12}}{\omega_0 \rho})^2}} \quad (4.42)$$

4. Максимальное значение амплитуды нагрузочного тока, при котором ТР работает без отсечки

$$\Delta I_N \leq I_{ном} \sqrt{\frac{1-\delta^2}{Q}} \frac{\omega}{\omega_p},$$

где $\delta = Q\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)$.

5. Строим фазовую характеристику выходного импеданса стабилизатора для заданного диапазона частот

$$\varphi_2(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\omega L_2}{R_{12}} - \operatorname{arctg} \frac{(\frac{L_2}{R_{12}} + CR_{12})\omega}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}}.$$

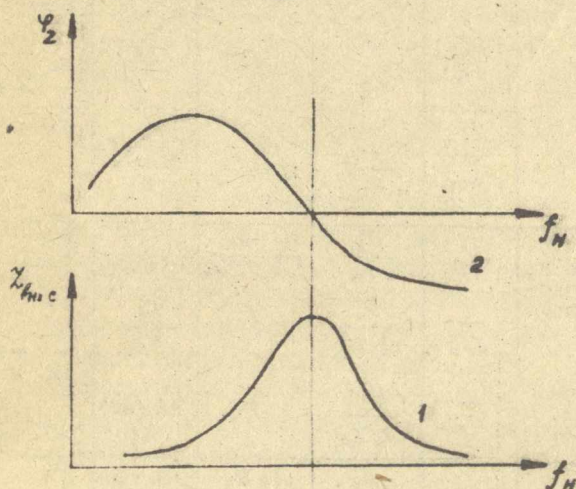


Рис. II. Вид частотной (кривая 1) и фазовой зависимости (кривая 2) выходного сопротивления ТСН.

4.2. Расчет динамических характеристик при изменении входного напряжения

I. Для расчета параметров динамических характеристик при изменении входного напряжения воспользуемся данными табл. 4. Определим значения $h(\infty)$, $h(0)$, τ_n при учете каждого из частотно-зависимых параметров порознь.

Таблица 4

Параметры переходной характеристики входного напряжения

№ пп	Тип ТСН (по способу питания ТУ)	Реакт. параметр ТСН	$h_V(\infty)$	$h_V(0)$	τ_n	График
1.	От основного выпрямителя	K_y	$\frac{1}{K_y}$	$\frac{R_n}{R_{\text{вх}} + R_n + R_b}$	$\frac{\tau_y}{h(0)K_y}$	
		Z_k	$\frac{1}{K_y}$	1	$\frac{\tau_\delta}{K_y}$	
		Z_n	$\frac{1}{K_y}$	0	$\frac{C_n(\tau_{\text{вх}} + R_n)}{K_y}$	
2.	От вспомогательного источника, второй полюс которого подключен к потенциальной шине	K_y	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	$\frac{R'_y R_n}{z_k z'_{\text{вх}} + R'_y R_n}$	$\tau_y \frac{R'_y}{h(0) z_k K_y}$	
		Z_k	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	1	$\frac{\tau_\delta}{K_y}$	
		Z_n	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	0	$\frac{C_n \tau'_{\text{вх}}}{K_y}$	
3.	От вспомогательного источника, второй полюс которого подключен к общей шине.	K_y	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	$\frac{R'_y R_n}{z_k (R_n + z'_{\text{вх}})}$	$\tau_y \frac{R_n + z'_{\text{вх}}}{R_n K_y}$	
		Z_k	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	1	$\tau_k \frac{R'_y}{h(0) z_k K_y}$	
		Z_n	$\frac{R'_y}{z_k K_y}$	0	$\frac{C_n \tau'_{\text{вх}}}{K_y}$	

2. Данные расчета сведем в таблицу

Учитываемый параметр	$h(\infty)$	$h(0)$	Σ_{MRC^2}
h_{218}			
K_y			
Z_k			
Z_n			

3. Обратим внимание на значения постоянных времени процесса τ_n^{zk} , τ_n^{zn} , которые соответственно характеризуют длительность процесса спадения входного скачка, прошедшего на выход, и длительность процесса накопления заряда конденсатора, компенсирующего выброс на выходе (см. рис. в табл. 4). Если τ_n^{zn} значительно превышает τ_n^{zk} , то выброс на выходе практически отсутствует, если постоянные времени сравнимы, то следует выполнить графическое построение или расчет по полным формулам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии даны рекомендации по проектированию устройств электропитания звукотехнической, электроакустической и другой электронной аппаратуры. На основе анализа типичных ошибок приведены указания по выполнению отдельных разделов проекта.

Разработана методика расчета динамических параметров транзисторных стабилизаторов напряжения.

На основе приведенных в пособии данных можно проектировать электропитающие устройства, отвечающие современным требованиям, и разрабатывать более совершенные источники электропитания.

ЛИТЕРАТУРА К ПРОЕКТУ

1. АГАПОВ М.Б., НИХУТА А.Б. Электрическая защита полупроводниковых источников питания. М., "Сов.радио", 1966., 168с.
2. АРТАМОНОВ В.В. Маломощные выпрямители. М., "Связь", 1970.
3. БАЛЫН Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектроники. М., "Сов. радио", 1971., 720с.
4. БЕЛОПОЛЬСКИЙ И.И., КАРЕТНИКОВА В.И., НИКАЛОВА Л.Р. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. М., "Энергия", 1978.
5. БЕЛОПОЛЬСКИЙ И.И. и др. Проектирование источников электропитания радиоаппаратуры. М., "Энергия", 1967., 304с.
6. ВЕКСЛЕР Г.С. Розрахунок електроживильних пристроїв. Київ, "Техніка", 1970., 340с.
7. ВЕКСЛЕР Г.С., ПИЛИНСКИЙ В.Б., КРЬЕВ А.М. Расчет транзисторных стабилизаторов напряжения. Киев, КПИ, 1968., 52с.
8. ВЕКСЛЕР Г.С., КРЫЖАНОВСКИЙ И.А., МАРТЫНЮК С.Г., ЯНУШЕВСКИЙ О.А. Конструирование специальной аппаратуры. Киев, КПИ, 1972., 68с.
9. ГЕЙМАН Г.Б., ЕСИН В.А. Расчет магнито-электронных стабилизаторов напряжения. М., "Энергия", 1971., 120с.
10. ГРЕЙВЕР В.С. Ключевые стабилизаторы напряжения постоянного тока. М., "Связь", 1970., 152с.
11. ДОМЕНИКОВ Б.И., КАЗАНСКИЙ Л.М. Стабилизированные источники питания судовой радиоэлектронной аппаратуры. Л., "Судостроение", 1971., 400с.
12. ЖУРАВЛЕВ А.А., МАЗЕЛЬ К.Б. Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах. М., "Энергия", 1974., 88с.
13. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет. Под редакцией Додика С.Д. и Гальперина Е.И. М., "Сов.радио", 1969., 448с.
14. КИТАЕВ В.Е., БОКУНЯЕВ А.А. Проектирование источников электропитания устройств связи. М., "Связь", 1972., 200с.
15. МОИН В.С., ЛАПТЕВ Н.Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М., "Энергия", 1972., 512с.
16. РОГИНСКИЙ В.Ю. Расчет устройств электропитания аппаратуры электроосвязи. М., "Связь", 1972.

17. САФРОШИЧ Ю.В. Переходные характеристики и устойчивость транзисторных стабилизаторов напряжения и тока. М., "Энергия", 1968, 168с.
 18. Справочник по радиоэлектронике. Под редакцией Куликовского А.А., том. 2, М., "Энергия", 1968., 536с.
-

Приложение I

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Киевский ордена Ленина политехнический институт имени 50-летия
Великой Октябрьской социалистической революции

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра кинотехники

"СОГЛАСОВАНО"

(Руководитель научного или
производственного подразделения

" " _____
_____ 19__ г.

"УТВЕРЖДАЮ"

Зав.кафедрой кинотехники

" " _____
_____ 19__ г.

БЛОК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ТРАНЗИСТОРАМИ
СТАБИЛИЗАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПРЕОБ-
РАЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

(Пояснительная записка к курсовому проекту)

Руководитель доц.

/ Сидоров В. А. /

Исполнитель
студент IV курса
группы ТМЗ-20

/ Иванов И. И. /

1975.

-54-

УДК (см. в библиографическом
отделе библиотеки)

Проект источника вторичного электропитания с транзистор-
ным стабилизатором напряжения. И в а н о в И.И.

Пояснительная записка к курсовому проекту по курсу "Элект-
ронитание специальной аппаратуры". КПИ, кафедра кинотехники
1975.

Приведены обоснование и расчеты блока электропитания
измерительного усилителя.

Блок содержит транзисторный стабилизатор напряжения, сгла-
живающий LC - фильтр, выпрямитель, силовой трансформатор,
узел электрической защиты блока и потребителя от перегрузок
по току и напряжению.

Данные блока: выходное напряжение 12В, ток 1А;
нестабильность выходного напряжения по сети 0,1%, по нагруз-
ке 0,5%, по температуре 3% в диапазоне $+5... +40^{\circ}\text{C}$.

Мощность, потребляемая от сети 25ВА; к.п.д. = 0,5;
 $\cos\varphi = 0,95$. Основные данные входного источника: напряжение
 $220\text{В} \pm 10\%$, частота 50 Гц.

Таблиц - 1, иллюстраций - 6,
библиография - 7 названий.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ	...	3
1.1. Назначение пособия	...	3
1.2. Структура и состав проекта	...	4
2. КРАТКИЕ УКАЗАНИЯ К ОТДЕЛЬНЫМ РАЗДЕЛАМ ПРОЕКТА	...	12
2.1. Указания к составлению технического задания на проект	...	12
2.2. Указания к разделу "Электрический расчет"	...	15
2.3. Указания к разделу "Конструктивный расчет"	...	18
2.4. Указания к разделу "Дополнительные данные"	...	20
2.5. Указания к составлению заключения	...	23
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	...	24
3.1. Динамический и статический режимы работы источников электропитания	...	24
3.1.1. Характеристики стабилизатора при изменении нагрузки и входного напряжения	...	26
3.1.2. Характеристики стабилизатора при изменении нагрузки	...	28
3.2. Параметры динамических характеристик	...	31
3.2.1. Переходные характеристики	...	31
3.2.2. Частотные характеристики	...	32
4. УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ	...	37
4.1. Расчет динамических характеристик при изменении нагрузки	...	37
4.1.1. Параметры регулирующего и усилительного каскадов Т С Н	...	37
4.1.2. Параметры контура, моделирующего выходное сопротивление ТСН	...	43
4.1.3. Переходная характеристика выходного сопротивления Т С Н	...	46
4.1.4. Частотная характеристика выходного сопротивления Т С Н	...	48
4.2. Расчет динамических характеристик при изменении входного напряжения	...	50
В а к л ю ч е н и е	...	50
Л и т е р а т у р а к п р о е к т у	...	52
П р и л о ж е н и я :		
1. Образец титульного листа	...	54
2. Образец реферативной карточки	...	55