

УДК621.316.722:621.311

С.М. ПОПКО, инж., И.Н. РУСНЯК, канд. техн. наук (ГП НИИ «Квант», г. Киев),
С.Т. ДРЕМОВ, инж. (ГП НИИ «Квант-Радиолокация», г. Киев)

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИКИ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ОЭС И РЛС

Представлена структурная схема базового стабилизатора постоянного напряжения, рассмотрены способы ее совершенствования. Отмечено, что стабилизаторы постоянного напряжения, разработанные в соответствии со структурной базовой схемой, успешно применяются в современных оптико-электрических и радиолокационных системах. Приведены сравнительные характеристики применяемых стабилизаторов постоянного напряжения, которые подтверждают существенные преимущества предложенных способов их совершенствования.

Наведено структурну схему базового стабілізатора постійної напруги, розглянуто способи її вдосконалення. Відзначено, що стабілізатори постійної напруги, які розроблено згідно структурної базової схеми, успішно застосовуються в сучасних оптико-електричних і радіолокаційних системах. Наведено порівняльні характеристики стабілізаторів постійної напруги, що застосовуються, які підтверджують суттєві переваги запропонованих способів їхнього вдосконалення.

Одним из основных требований высокочувствительной аппаратуры оптико-электронных систем (ОЭС) и радиолокационных систем (РЛС) к источникам вторичного электропитания (ИВЭП) является низкий уровень пульсаций питающего напряжения. При создании РЛС первых поколений в некоторых ИВЭП унифицированного ряда пониженный уровень выходных пульсаций достигали путем включения последовательно со стабилизатором постоянного напряжения (СПН) предварительного полупроводникового сглаживающего фильтра [1]. Такое решение позволяло снизить уровень пульсаций питающего напряжения до величины нескольких милливольт.

Для высокочувствительной электронной аппаратуры ОЭС и РЛС следующих поколений такие ИВЭП стали малоэффективны, так как мощность потерь на полупроводниковых сглаживающих фильтрах была соизмеримой с мощностью потерь на самом СПН. Как следствие, КПД ИВЭП снижался на (30–40) %, а пульсация выходного напряжения при этом существенно не уменьшалась, поскольку ее уровень определялся коэффициентом подавления пуль-

саций самого СПН, величина которого сравнительно невелика. В дальнейшем необходимое снижение уровня выходных пульсаций, а также улучшение энергетических и массогабаритных показателей ИВЭП осуществлялось и продолжает осуществляться исключительно путем усовершенствования схемотехники СПН, основных элементов источников питания, влияющих на выходные параметры. Работы по совершенствованию схем СПН проводятся в следующих трех основных направлениях:

- повышение коэффициента подавления входных пульсаций;
- уменьшение минимального падения напряжения на регулирующем элементе СПН;
- создание высокоточных узлов индикации и контроля наличия выходного напряжения и нормальной работы СПН.

При этом в качестве базовой схемы выбрана классическая схема СПН с регулирующим элементом, включенным последовательно в силовую цепь и выполненным на биполярном силовом транзисторе с одним или несколькими согласующими и управляющим транзисторами. СПН содержит усилитель обратной связи (УОС), осуществленный на двух транзис-

© С.М. ПОПКО, И.Н. РУСНЯК, С.Т. ДРЕМОВ, 2014

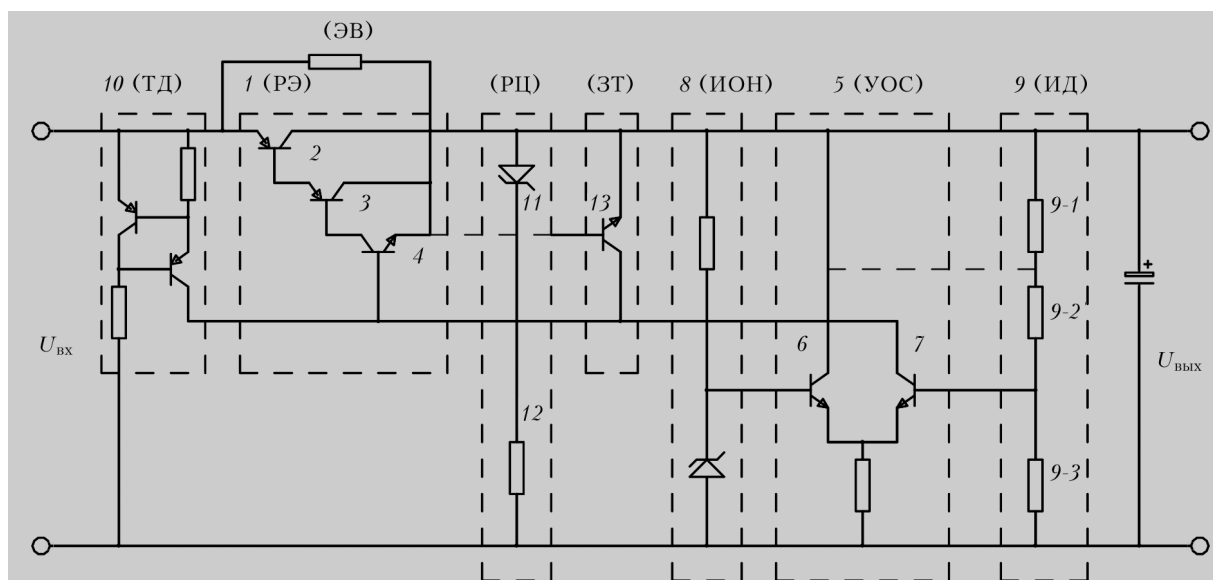


Рис. 1. Схема стабилизатора постоянного напряжения (пояснения в тексте)

торах по дифференциальной схеме с токостабилизирующим двухполюсником (ТД) в качестве нагрузки УОС [2].

При усовершенствовании СПН принято важное условие: при внесении тех или иных изменений в максимальной мере должна сохраняться базовая классическая схема СПН, которая понятна в построении и легко читается.

На рис. 1 показана схема СПН, которая выполнена по классической схеме построения.

Схема содержит следующие основные устройства:

- регулирующий элемент (РЭ) 1, который выполнен на силовом элементе 2, согласующем 3 и управляющем 4 транзисторах и включен по схеме составного транзистора с дополнительной симметрией;
- усилитель обратной связи (УОС 5), который выполнен по дифференциальной схеме на входном 6 и выходном 7 транзисторах;
- источник опорного напряжения (ИОН) 8;
- измерительный делитель выходного напряжения (ИД) 9;
- токостабилизирующий двухполюсник (ТД) 10.

Коэффициент подавления пульсаций такого СПН составляет 40–50 дБ, а минимальное падение напряжения на регулирующем элементе 1 имеет величину 2,5–3,5 В [2].

Для питания высокочувствительной электронной аппаратуры современных ОЭС и РЛС разработан ряд новых ИВЭП [3–14], в которых за счет усовершенствования схемы стабилизатора напряжения снижен уровень выходных пульсаций с 2 мВ до 150 мкВ, то есть более чем в 10 раз.

Новое исполнение схемы стабилизатора постоянного напряжения осуществлено следующим образом. В классической схеме стабилизатора постоянного напряжения (рис. 1) верхнее плечо измерительного делителя выходного напряжения 9 выполнено в виде двух последовательно включенных резисторов 9–1 и 9–2, а точка их соединения связана с коллектором входного транзистора 6 усилителя обратной связи 5 (на рис. 1 показано пунктирной линией). Поскольку входной 6 и выходной 7 транзисторы усилителя обратной связи 5 работают в противофазе, на одном из резисторов верхнего плеча измерительного делителя выходного напряжения 9–1 формируется напряжение, которое является противофазным по отношению к напряжению выходных пульсаций. При должной величине сопротивления данного резистора эти напряжения компенсируют друг друга, и уровень выходных пульсаций значительно уменьшается. Коэффициент подавления входных пульсаций стабилизатора повышается до величины 60–

80 дБ, что обеспечивает снижение уровня выходных пульсаций до величины 100–150 мкВ.

Разработана также схема, которая позволяет существенно снизить уровень минимального падения напряжения на регулирующем элементе стабилизатора [4]. В отличие от классической схемы регулирующего элемента (рис. 1) добавлена компенсационная цепь (цепь РЦ на рис. 1), состоящая из полупроводникового элемента 11 и ограничительного резистора 12, которая и обеспечивает снижение величины минимального падения напряжения на регулирующем элементе 1. Схема работает следующим образом. Полярность напряжения U_{11} полупроводникового элемента 11 противоположна полярности напряжения $U_{эк3}$ на переходе эмиттер-коллектор согласующего транзистора 3 регулирующего элемента. При оптимальной величине напряжения полупроводникового элемента 11 компенсационной цепи, превышающего на 0,5–1,0 В минимальное падение напряжения на переходе эмиттер-коллектор согласующего транзистора 3 регулирующего элемента 1 происходит и компенсация напряжения перехода эмиттер – коллектор согласующего транзистора 3, и изменение полярности напряжения $U_{кб2}$ перехода коллектор – база силового транзистора 2. В результате значительно уменьшается напряжение $U_{эк2}$ на переходе эмиттер – коллектор силового транзистора 2, что приводит к уменьшению величины минимального падения напряжения на стабилизаторе напряжения. Минимальное падение напряжения на силовом транзисторе 2 регулирующего элемента 1 – $U_{эк2 \text{ мин}}$ и минимальное падение напряжения на самом стабилизаторе определяется следующим выражением:

$$U_{эк2 \text{ мин}} = U_{эб2} + U_{эб3} + U_{кб4} + U_{эб4} - U_{11}, \quad (1)$$

где $U_{эк2 \text{ мин}}$ – минимальное напряжение на переходе эмиттер-коллектор силового транзистора 2; $U_{эб2}$, $U_{эб3}$, $U_{эб4}$ – напряжения на переходе эмиттер-база транзисторов 2, 3, 4; $U_{кб4}$ – напряжение на переходе коллектор-база транзистора 4; U_{11} – напряжение на полупроводниковом элементе (двуполярном стабилитроне) 11.

При условии, если

$$U_{эб3} + U_{кб4} + U_{эб4} < U_{11}, \quad (2)$$

переход коллектор – база силового транзистора 2 регулирующего элемента 1 смещается в прямом направлении, и, как следствие, напряжение на его переходе эмиттер-коллектор ($U_{эк2}$) изменяет свою полярность и определяется не суммой напряжений эмиттер-база ($U_{эб2}$) и база-коллектор ($U_{кб2}$) транзистора 2, что характерно для классической схемы ($U_{эк2} = U_{эб2} + U_{кб2}$), а их разностью

$$U_{эк2} = U_{эб2} - U_{кб2} \quad (3)$$

и достигает своей минимальной величины $U_{эк2 \text{ мин}}$.

Одновременно данная схема стабилизатора постоянного напряжения с пониженной величиной минимального падения напряжения обладает дополнительной способностью защиты от токовых перегрузок. Без дополнительных защитных элементов ток короткого замыкания стабилизатора ($I_{кз}$) определяется по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{\text{вых}} - U_{11}}{R_{12}} \beta_2, \quad (4)$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение стабилизатора; R_{12} – значение сопротивления резистора 12; β_2 – коэффициент усиления по напряжению транзистора 2.

С дополнительным защитным транзистором (ЗТ – элемент 13 на рис. 1) ток короткого замыкания $I_{кз}$ имеет значительно меньшую величину [5]:

$$I_{кз} = \frac{U_{эб13}}{R_{12}} \beta_2, \quad (5)$$

где $U_{эб13}$ – напряжение на переходе эмиттер-база транзистора 13.

Такое техническое решение успешно применяется для уменьшения минимального падения напряжения интегральных стабилизаторов 142ЕН1, 142ЕН2 – первых микроэлектронных стабилизаторов, которые серийно изготавливались в СССР и достаточно широко использовались в разработках источников питания. Минимальное падение напряжения интегральных стабилизаторов 142ЕН1, 142ЕН2 уменьшилось с 3,5 В до 0,6 В, а ток короткого замыкания со схемой защиты составил 10 % от номинального тока.

На базе новой схемы СПН в 1985 г. впервые в Украине и в Советском Союзе были разработаны и серийно освоены микроэлектронные СПН М2ЕНЭ5081, М2ЕНЭ5091 с минимальным падением напряжения 0,6–0,8 В [6].

Последующие работы [7–12] позволили существенно усовершенствовать схему построения стабилизаторов и разработать новый ряд высокоэффективных СПН, которые одновременно имеют и достаточно малую величину минимального падения напряжения ($< 0,5$ В), и более высокий коэффициент подавления входных пульсаций (90–100 дБ). Это обеспечивает получение малого уровня выходных пульсаций (< 100 мкВ), и относительно малую величину тока короткого замыкания ($0,1–0,2 I_{нар}$). Кроме того, при разработке таких СПН применены новые, более совершенные решения, способные сформировать высокоточный контрольный выходной сигнал (индикацию) для получения более достоверной информации о соответствии выходного напряжения номинальному значению, а также необходимую информацию относительно нормального режима работы всех элементов стабилизатора. Наличие данного высокоточного контрольного выходного сигнала значительно упрощает процесс настройки и эксплуатации как самого стабилизатора, так и в целом модулей ИВЭП с использованием данного стабилизатора. В зависимости от величины пульсаций входного напряжения контрольный выходной сигнал такого СПН появляется при снижении выходного напряжения на 5–10 % [13].

С внедрением SMD технологий и SMD элементов появилась широкая возможность для усовершенствования схем СПН. На рис. 2 (ср. с рис. 1) приведена структурная схема высокоэффективного стабилизатора напряжения с пониженной пульсацией (ВСНПм), которая позволяет уменьшить минимальное падение напряжения при токе нагрузки 1 А до величины 0,15–0,3 В, коэффициент подавления пульсаций входного напряжения увеличить до величины 110–120 дБ. При этом повышается точность вырабатывания контрольного сигнала ВСНПм о соответствии выходного напряжения стабилизатора номинальному

значению и о нормальном режиме работы всех его элементов, которая составляет величину < 1 % [14].

Особенности данного стабилизатора заключаются в следующем:

- схемотехнически сохраняется классический метод его построения;
- почти все его элементы одновременно выполняют несколько функций.

Например, разделительная цепь (РЦ, 11) снижает величину минимального падения напряжения на стабилизаторе и является частью элемента защиты от коротких замыканий. Токостабилизирующий двухполюсник (ТД, 10) обеспечивает запуск стабилизатора и является частью элемента формирования контрольного выходного сигнала о соответствии выходного напряжения стабилизатора номинальному значению. Токозадающий элемент (ТЭ) совместно с одним из транзисторов усилителя обратной связи увеличивает величину коэффициента подавления пульсаций входного напряжения и значительно снижает ток короткого замыкания.

Сравнительные величины и формы пульсаций выходного напряжения стабилизатора МС29302ВТ и ВСНПм при питании постоянным напряжением с пульсацией 2 В частотой

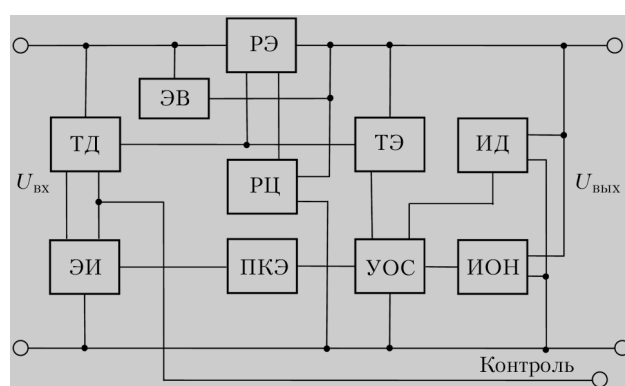


Рис. 2. Структурная схема стабилизатора ВСНПм: ТД – токостабилизирующий двухполюсник; ЭИ – элемент индикации; ЭВ – элемент возврата; РЭ – регулирующий элемент; РЦ – разделительная цепь; ПКЭ – пороговый контрольный элемент; ТЭ – токозадающий элемент; УОС – усилитель обратной связи; ИД – измерительный делитель выходного напряжения; ИОН – источник опорного напряжения

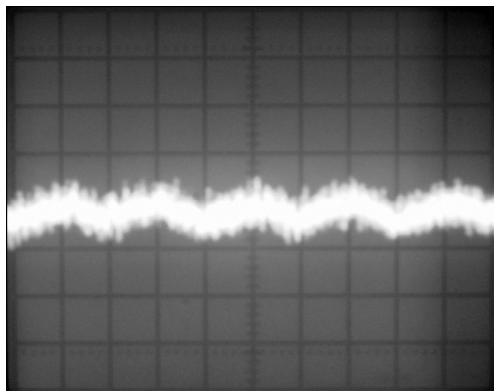


Рис. 3. Величина пульсации выходного напряжения стабилизатора MIC29302BT

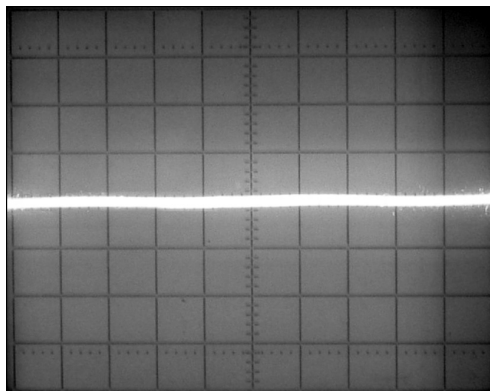


Рис. 4. Величина пульсации выходного напряжения стабилизатора ВСНПМ

Тип стабилизатора	Величина минимального напряжения при нагрузке 1 А, В	Коэффициент подавления входных пульсаций, дБ	Точность сигнала контроля (индикации) номинальной величины выходного напряжения, %	Ток короткого замыкания, А
142ЕН	2,5–3,5	45–55	Отсутствует	0,2
М2ЕНЭ5091	0,6–0,8	50–60	10	0,5
ВСНП	0,4–0,6	90–100	5–10	0,3
MIC29302BT	0,1–0,3	70–80	3	4,5–5
ВСНПМ	0,1–0,2	110–120	0,1	0,2

выпрямленной и сглаженной сети 50 Гц приведены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

Сравнительные характеристики различных стабилизаторов напряжения приведены в таблице.

В настоящее время для электропитания антенных решеток РЛС и усилителей мощности нового поколения все чаще выдвигаются требования в создании более мощных стабилизаторов постоянного напряжения ВСНПМ (на выходные токи более 5 А). В этой связи проводятся работы по проектированию высококачественных источников питания повышенной мощности. ➔

Список литературы

1. Додик С.Д. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока (с непрерывным регулированием). — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Сов. радио, 1980. — 344 с.
2. Векслер Г.С., Пилинский В.В. Электропитающие устройства электроакустической и кинотехнической аппаратуры. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. — 386 с.
3. А.с. СССР 593204. Стабилизатор постоянного напряжения / С.Т. Дремов. — Оpubл. 1978. — Бюл. № 6.
4. А.с. СССР 832543. Стабилизатор напряжения постоянного тока / С.Т. Дремов. — Оpubл. 1981. — Бюл. № 19.
5. А.с. СССР 930307. Стабилизатор напряжения постоянного тока / С.Т. Дремов., С.М. Попко. — Оpubл. 1981. — Бюл. № 19.
6. А.с. СССР 1343405. Стабилизированный источник электропитания / С.Т. Дремов и др. — Оpubл. 1987. — Бюл. № 37.
7. А.с. СССР 1406583. Стабилизатор постоянного напряжения / С.Т. Дремов и др. — Оpubл. 1988. — Бюл. № 24.
8. Дремов С.Т., Попко С. М. Микроэлектронный стабилизатор с малым падением напряжения // Высокоэффективные ИВЭП и СВЭП РЭА. — М.: МНДТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1989. — С. 78–83.
9. А.с. СССР 1534442. Стабилизатор напряжения постоянного тока / С.Т. Дремов и др. — Оpubл. 1990. — Бюл. № 1.
10. А.с. СССР 1541576. Стабилизатор напряжения постоянного тока / С.Т. Дремов и др. — Оpubл. 1990. — Бюл. № 5.
11. А.с. СССР 1628055. Стабилизатор постоянного напряжения / С.Т. Дремов и С.М. Попко. — Оpubл. 1991. — Бюл. № 6.
12. А.с. СССР 1711133. Компенсационный стабилизатор напряжения постоянного / С.Т. Дремов. — Оpubл. 1992. — Бюл. № 5.
13. А.с. СССР 1786478. Компенсационный стабилизатор напряжения постоянного / С.Т. Дремов. — Оpubл. 1993. — Бюл. № 1.
14. Пат. України 70856. Компенсаційний стабілізатор постійної напруги з органом контролю роботи / С.Т. Дремов, В.П. Ліпатов, А.Я. Зайцев, О.П. Ковбаса. — Оpubл. 2005. — Бюл. № 9.