



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 011 275** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК<sup>5</sup> **H 02 M 3/335**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 5009440/07, 04.11.1991

(46) Дата публикации: 15.04.1994

(71) Заявитель:

Александров Владимир Александрович

(72) Изобретатель: Александров Владимир Александрович

(73) Патентообладатель:

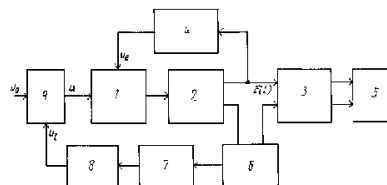
Александров Владимир Александрович

(54) КЛЮЧЕВОЙ СТАБИЛИЗАТОР

(57) Реферат:

Использование: вторичные импульсные источники электропитания, ключевые стабилизаторы и регуляторы напряжения, коллекторные модуляторы передатчиков в радиотехнических устройствах большой и средней мощности. Цель изобретения - повышение стабильности напряжения на нагрузке при ее изменении в широких пределах. Сущность изобретения: стабилизатор содержит широтно-импульсный модулятор 1, ключевой усилитель 2 и фильтр 3 нижних частот, цепь 4 отрицательной обратной связи, сумматор 9, дополнительный фильтр 8 нижних частот, цепь 7

положительной обратной связи и датчик 6 тока. 1 ил.



RU 2 0 1 1 2 7 5 C 1

RU 2 0 1 1 2 7 5 C 1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 011 275** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> **H 02 M 3/335**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5009440/07, 04.11.1991

(46) Date of publication: 15.04.1994

(71) Applicant:  
**ALEKSANDROV VLADIMIR ALEKSANDROVICH**

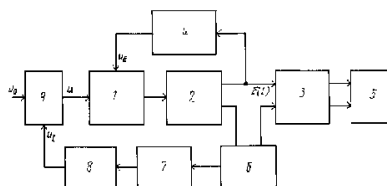
(72) Inventor: **ALEKSANDROV VLADIMIR  
ALEKSANDROVICH**

(73) Proprietor:  
**ALEKSANDROV VLADIMIR ALEKSANDROVICH**

(54) **SWITCH STABILIZER**

(57) Abstract:

FIELD: pulsed power supplies. SUBSTANCE: stabilizer has pulse-width modulator 1, switch amplifier 2, lower frequency filter 3, negative feedback circuit 4, adder 9, lower frequency additional filter 8, positive feedback circuit 7, current transducers. EFFECT: improved stability of load voltage when it changes in wide range. 1 dwg



RU 2 0 1 1 2 7 5 C 1

RU 2 0 1 1 2 7 5 C 1

Изобретение относится к импульсной технике и предназначено для использования в качестве вторичных импульсных источников электропитания, ключевых стабилизаторов и регуляторов напряжения, коллекторных модуляторов передатчиков в радиотехнических устройствах большой и средней мощности.

Известные стабилизаторы напряжения, например, описанные в [1-4], содержащие последовательно соединенные широтно-импульсный модулятор, ключевой усилитель и фильтр нижних частот (ФНЧ), а также цепь отрицательной обратной связи по выходному напряжению. Для обеспечения высокого качества выходного напряжения в таких устройствах могут использоваться многозвенные LC ФНЧ [3], позволяющие обеспечить высокую степень подавления высокочастотных (ВЧ) составляющих импульсного напряжения до уровня -70... -80 дБ.

Вместе с тем, применение многозвенных ФНЧ препятствует введению эффективной отрицательной обратной связи по выходному напряжению, максимальная глубина которой, ограниченная условием устойчивой работы ключевых стабилизаторов, как правило, не превышает 10...12 дБ [4]. При этом обеспечивается недостаточная стабильность выходного напряжения, отклонение которого от номинального уровня составляет 10...20% при двукратном изменении напряжения электропитания ключевых усилителей.

Значительно большую стабильность выходного напряжения позволяет обеспечить использование отрицательной обратной связи (ООС) по импульсному напряжению с выхода ключевого усилителя через интегрирующее звено, входящее в состав широтно-импульсного модулятора [1 и 2]. Глубина ООС такого вида может достигать 40...50 дБ без нарушения устойчивости работы ключевого стабилизатора. При этом двукратное изменение напряжения электропитания приводит к изменению выходного напряжения менее чем на 0,5-1%.

Недостатком устройств с обратной связью по импульсному напряжению с выхода ключевого усилителя [1 и 2] является отсутствие компенсации падения напряжения на активном сопротивлении г дросселей ФНЧ и трассы соединения выходов ключевого регулятора с выводами нагрузки. В большинстве практических случаев величина этого сопротивления достигает 10% от номинального сопротивления нагрузки. При этом двойное изменение тока нагрузки приводит к отклонению напряжения на ее выводах до 10% от номинального уровня. Использование дополнительной обратной связи по выходному напряжению позволяет уменьшить это изменение не более чем в 2...3 раза, так как ее глубина ограничена условием устойчивой работы ключевого стабилизатора.

Отмеченный недостаток затрудняет использование известных ключевых стабилизаторов при подключении нагрузки через протяженный (до нескольких километров) магистральный кабель, активное сопротивление которого может быть соизмеримо с сопротивлением нагрузки. В этом случае введение дополнительной ООС непосредственно с нагрузки затруднено и

изменение ее импеданса в два раза приводит к отклонению выходного напряжения от номинального уровня на 30...50%.

Наиболее близким к предлагаемому является устройство, содержащее широтно-импульсный модулятор, первый вход которого подключен к шине опорного напряжения  $U_0$ , а выход соединен с входом управления ключевого усилителя, подключенного выходом через ФНЧ к шинам нагрузки, а через цепь отрицательной обратной связи - к второму входу широтно-импульсного модулятора [1].

Однако, низкая стабильность выходного напряжения этого устройства при изменении импеданса нагрузки в широких пределах препятствует его использованию в качестве стабилизированных источников вторичного электропитания, особенно при подключении нагрузки через протяженный магистральный кабель.

Цель изобретения - повышение стабильности напряжения на нагрузке при ее изменении в широких пределах.

Это цель достигается в известном ключевом стабилизаторе, содержащем последовательно соединенные широтно-импульсный модулятор, ключевой усилитель и фильтр нижних частот, выход которого подключен к нагрузке, а выход ключевого усилителя через цепь отрицательной обратной связи подключен к одному из входов широтно-импульсного модулятора, посредством введения в его состав сумматора, дополнительного фильтра нижних частот, цепи положительной обратной связи и датчика тока, включенного первым и вторым выводами между выходом ключевого усилителя и фильтром нижних частот, причем выход датчика тока через последовательно соединенные цепь положительной обратной связи и фильтр нижних частот, подключен к первому входу сумматора, второй вход которого соединен с шиной опорного напряжения, а выход - с другим входом широтно-импульсного модулятора.

Введение в состав предлагаемого устройства датчика тока, цепи положительной обратной связи, дополнительного фильтра нижних частот и сумматора позволяет обеспечить компенсацию падений напряжения на активном сопротивлении элементов ФНЧ и шин подключения нагрузки соответствующим увеличением среднего значения выходного напряжения ключевого усилителя. Тем самым применение предлагаемого стабилизатора дает возможность обеспечить высокую стабильность выходного напряжения при изменении импеданса нагрузки в широких пределах даже при ее подключении через протяженный магистральный кабель.

На чертеже показана структурная схема предлагаемого стабилизатора.

Стабилизатор содержит широтно-импульсный модулятор 1, ключевой усилитель 2, ФНЧ 3, цепь 4 ООС, нагрузку 5, датчик 6 тока, цепь 7 положительной обратной связи (ПОС), дополнительный ФНЧ 8 и сумматор 9.

Широтно-импульсный модулятор 1 предназначен для формирования последовательности импульсов, модулированных по длительности в соответствии с уровнями входного сигнала U

и импульсного сигнала ООС  $U_E$ . Модулятор может быть выполнен на интеграторе, генераторе пилообразного напряжения и компараторе.

При этом за период переключения  $T$  выполняется условие равенства средних значений входного сигнала  $U$  и сигнала обратной связи  $U_E = \beta E(t)$

$$\int_{t}^{t+T} [U - \beta E(t)] dt = 0 \quad (1)$$

Ключевой усилитель 2 предназначен для высокоэффективного усиления по мощности сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и формирования на входе ФНЧ 3 импульсов напряжения амплитудой  $E$ , определяемой напряжением электропитания. Ключевой усилитель 2 выполняется по одностактной последовательной схеме с входным дросселем ФНЧ 3, включенном на выходе оконечного каскада. Использование цепи 4 ООС с выхода ключевого усилителя на интегрирующий вход широтно-импульсного модулятора позволяет обеспечить пропорциональность между средним значением входного сигнала  $u$  и средним за период переключений значением импульсного напряжения  $V$

$$U = \beta V, \quad (2)$$

где  $\beta$  - коэффициент передачи цепи 4 ООС, которая может быть выполнена на резистивном делителе.

ФНЧ 3 предназначен для выделения в нагрузке 5 полезных НЧ-составляющих импульсного напряжения. Для формирования выходного напряжения с малым уровнем пульсаций (порядка 0,5...5 мВ) ФНЧ 3 должен выполняться по многозвенной схеме и может содержать режекторные и инжекторные звенья, обеспечивающие эффективное подавление гармоник частоты переключения.

Датчик 6 тока служит для выделения напряжения  $U_i$ , уровень которого пропорционален величине выходного тока  $i$  ключевого усилителя 2, и может быть выполнен на резистивном шунте малого сопротивления  $R_i$ , напряжение  $U_i$  на котором равно

$$U_i = R_i i. \quad (3)$$

Цепь 7 ПОС и дополнительный ФНЧ 8 предназначены для фильтрации НЧ-составляющих сигнала обратной связи по току и передачи его в заданной пропорции на вход сумматора 9

$$U_i = \gamma R_i i, \quad (4)$$

где  $\gamma$  - среднее значение выходного тока ключевого усилителя;

$\gamma$  - коэффициент передачи цепи 7.

Для обеспечения стабильности напряжения на нагрузке за счет компенсации падений напряжения на сопротивлении  $r$  последовательных звеньев ФНЧ 3 и шин подключения нагрузки коэффициент передачи цепи 7 должен составлять

$$\gamma = r \beta / R_i. \quad (5)$$

При  $\gamma > 1$  цепь 7 должна содержать усилительное звено, выполненное, например, на операционном усилителе.

ФНЧ 8 служит для подавления ВЧ-пульсаций сигнала с выхода датчика тока и может быть выполнен на однозвенном LC ФНЧ с постоянной времени, в 3...5 раз большей периода переключений.

Сумматор 9 служит для суммирования опорного напряжения  $U_o$  и сигнала

$U_i$  обратной связи по току и формирования на первом входе интегратора суммарного напряжения  $U = U_o + U_i$ .

(6)

Сумматор 9 может быть выполнен на операционном усилителе и резистивном сумматоре.

Предлагаемый ключевой стабилизатор работает следующим образом.

Опорное напряжение  $U_o$  постоянного уровня суммируется сигналом обратной связи по току  $U_i$  и в результате на первом входе широтно-импульсного модулятора 1 формируется напряжение  $U(6)$ , уровень которого возрастает в соответствии с уровнем выходного тока

$$U = U_o + \gamma R_i i. \quad (7)$$

Этот сигнал совместно с сигналом  $U_E$  ООС по импульсному напряжению интегрируется и поступает на сравнение с опорным пилообразным напряжением. В результате на выходе модулятора 1 формируется сигнал с ШИМ, который усиливается по мощности ключевым усилителем 2. При этом среднее значение  $V$  импульсного напряжения  $E(t)$  пропорционально сигналу управления  $U$  на входе модулятора 1

$$U_o + \gamma R_i i = V \beta. \quad (8)$$

Средний уровень выходного тока ключевого усилителя 2 определяется из соотношения

$$I = V / (r + R_H), \quad (9)$$

где  $R_H$  - сопротивление нагрузки;

$r$  - суммарное сопротивление ФНЧ 3 и кабельного соединения его выхода с нагрузкой.

В результате из (8) и (9) получаем:

$$V = \frac{U_o}{\beta} \cdot (10)$$

$$1 - \frac{\gamma R_i}{(r + R_H) \beta}$$

Для значения коэффициента  $\gamma = r \beta / R_i$  знаменатель выражения (10), большее нуля при любых значениях  $r$  и  $R_H \in [R_{Ho}; \infty]$ . Следовательно, введение положительной обратной связи по выходному току не нарушает устойчивости ключевого стабилизатора во всем диапазоне изменения нагрузки.

Напряжение  $U_H$ , выделяемое на нагрузке стабилизатора с учетом (10), равно

$$U_H = \frac{V R_H}{R_H + r} = \frac{R_H U_o}{R_H + r - \gamma R_i / \beta}. \quad (11)$$

В результате для заданного значения  $\gamma$ , определяемого детерминированными величинами  $r$  и  $\beta$ , получаем

$$U_H = U_o \beta. \quad (12)$$

Полученное соотношение выполняется при изменении нагрузки в широких пределах для любого заданного значения сопротивления  $r$  и соответствует выполнению требования стабильности выходного напряжения ключевого стабилизатора.

Таким образом, в предлагаемом стабилизаторе обеспечивается высокая стабильность напряжения на нагрузке при ее изменении в широких пределах, в том числе и при подключении нагрузки через протяженный магистральный кабель.

Введение в состав известного устройства новой совокупности блоков и связей

позволило в предлагаемом стабилизаторе значительно повысить стабильность выходного напряжения при изменении импеданса нагрузки. Так, если в известном устройстве при проходном сопротивлении элементов ФНЧ и выходных шин до  $\gamma = 0,1R_{но}$  для изменения сопротивления нагрузки в диапазоне  $R_n = R_{но}(1,0 \dots 10)$  изменение выходного напряжения достигает 10% , то в предлагаемом стабилизаторе при тех же условиях обеспечивается изменение напряжения на нагрузке не более 1% . (56) 1. Патент США N 4134076, кл. Н 03 F 3/38, опублик. 1979.

2. Len Feeldman. Pulse width modulation for HI-FL. Radio Electronics, 1977, с. 59-61.

3. Патент США N 4144502, кл. Н 03 F 3/217, опублик. 1989.

4. Полов К. П. Условия устойчивой работы усилителя в режиме с обратной связью. Радиотехника, 1971, N 6, т. 26, с. 80-86.

**Формула изобретения:**

КЛЮЧЕВОЙ СТАБИЛИЗАТОР,

содержащий последовательно соединенные широтно-импульсный модулятор, ключевой усилитель и фильтр нижних частот, выход которого подключен к нагрузке, а первый выход ключевого усилителя через цепь отрицательной обратной связи подключен к одному из входов широтно-импульсного модулятора, отличающийся тем, что, с целью повышения стабильности напряжения на нагрузке при ее изменении в широких пределах, в его состав введены сумматор, дополнительный фильтр нижних частот, цепь положительной обратной связи и датчик тока, включенный между вторым выходом ключевого усилителя и входом фильтра нижних частот, причем выход датчика тока через последовательно соединенные цепь положительной обратной связи и дополнительный фильтр нижних частот подключен к первому входу сумматора, второй вход которого соединен с шиной опорного напряжения, а выход - с другим входом широтно-импульсного модулятора.

25

30

35

40

45

50

55

60