

Библиотека схемотехнических решений ИПШМ РАН

Компенсационный стабилизатор напряжения с цепью подавления "всплесков" и "провалов" выходного напряжения: модификация КСН-1

Прокопенко Н.Н., prokopenko@sssu.ru, Игнашин А.А., igan_96@mail.ru,
Серебряков А.И., SashaAg@mail.ru,
Бугакова А.В., annabugakova.1992@mail.ru

Научно-исследовательская лаборатория проблем проектирования в
экстремальной микроэлектронике ИПШМ РАН и ДГТУ

1. Области применения

Предназначен для работы в структуре микроэлектронных вторичных источников электропитания (ВИЭП), не допускающих применение конденсаторов большой емкости и, как следствие, больших габаритов.

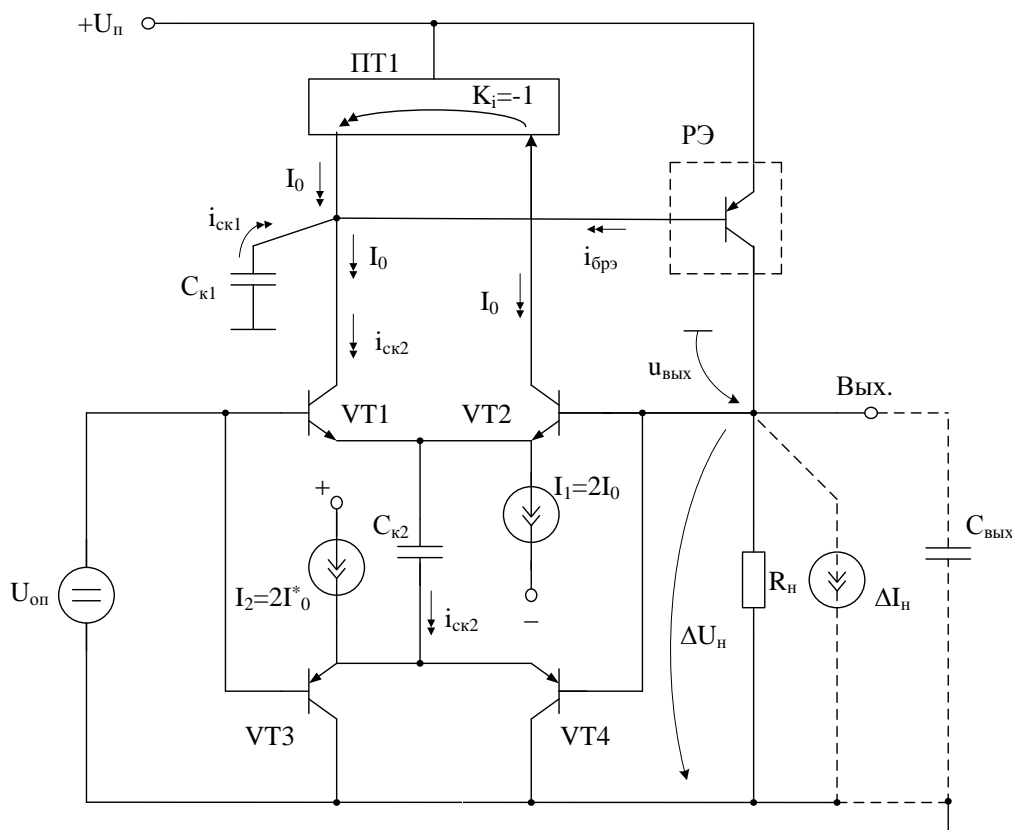


Рис. 1. Компенсационный стабилизатор напряжения

Практическая реализация схемы рис. 1 может быть осуществлена в рамках различных ВТ и CMOS технологий (XFAB, SiGe, TMS и др.), в т.ч. на основе радиационно-стойких аналоговых базовых матричных кристаллах АБМК 1.3, АБМК 2.2 и др. (АО «Интеграл», г. Минск), комплементарном биполярном технологическом процессе АО «НПП Пульсар» и т.п.

2. Текстовое описание схемы рис. 1

Схема КСН рис.1 включает:

- Источник опорного напряжения $U_{оп}$;
- дифференциальный усилитель сигнала рассогласования (VT1-VT2);
- цепь подавления "всплесков" и "провалов" выходного напряжения (VT3-VT4, I_2 , $C_{к2}$);
- регулирующий элемент на основе составного транзистора (РЭ)
- интегрирующую цепь коррекции $C_{к1}$;
- дифференцирующую цепь коррекции $C_{к2}$.

Статический режим КСН рис. 1 устанавливается источником тока I_1 , который может изменяться в широких пределах (единицы микроампер – единицы миллиампер). Это существенно влияет на величину максимального статического тока нагрузки в R_n , при котором выходное напряжение КСН соответствует опорному напряжению $U_{оп}$.

Регулирующий элемент (РЭ) должен быть рассчитан на максимально возможный «всплеск» тока нагрузки. Наиболее эффективной является реализация РЭ на составном транзисторе Дарлингтона с несколькими параллельно включенными транзисторами. Это позволит увеличить максимальный ток в нагрузке R_n . Но возможны и другие реализации РЭ, например, на полевых транзисторах.

Цепь коррекции $C_{к2}$ определяет, насколько эффективно каскад VT3-VT4 будет участвовать в «гашении» провалов и всплесков на выходном напряжении КСН, обусловленными импульсным изменением тока нагрузки. Чем больше значение $C_{к2}$, тем меньше выражены провалы и всплески.

В качестве токового зеркала ПТ1 могут применяться более 50 известных схемотехнических решений. Рациональный выбор токового зеркала – один из важных этапов проектирования и оптимизации схемы КСН рис. 1.

Таким образом, схема рис. 1 – это некоторая обобщенная схема, в рамках которой для типовых технологических процессов можно реализовать частные варианты КСН, отличающиеся друг от друга схемотехникой источников опорного тока, токового зеркала и регулирующего элемента, статическим режимом VT1-VT4, и, как следствие, динамическими параметрами.

В этой связи компьютерное моделирование обобщенной структурной схемы рис. 1 с идеальным токовым зеркалом и источниками тока I_1 , I_2 позволяет определить предельные параметры широкого класса практических вариантов построения КСН с архитектурой рис. 1, к которым необходимо стремиться.

3. Компьютерное моделирование КСН рис. 1

В частном случае схема КСН рис. 1 исследовалась в среде LTSpice на моделях транзисторов базового матричного кристалла АБМК 2.2-1 (рис. 2) и в среде Cadence на моделях транзисторов XFAB (рис. 3).

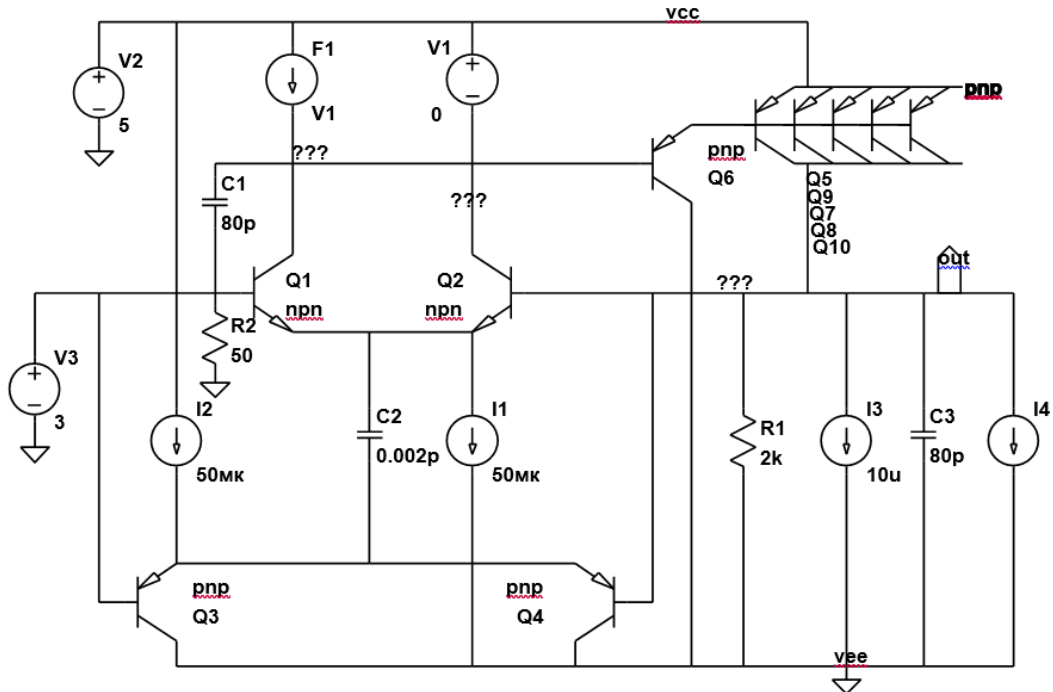


Рис. 2 КСН рис. 1 в среде LTSpice на моделях транзисторов базового матричного кристалла АБМК 2.2-1 (АО «Интеграл», г Минск)

На рис. 3 показана схема КСН в среде Cadence.

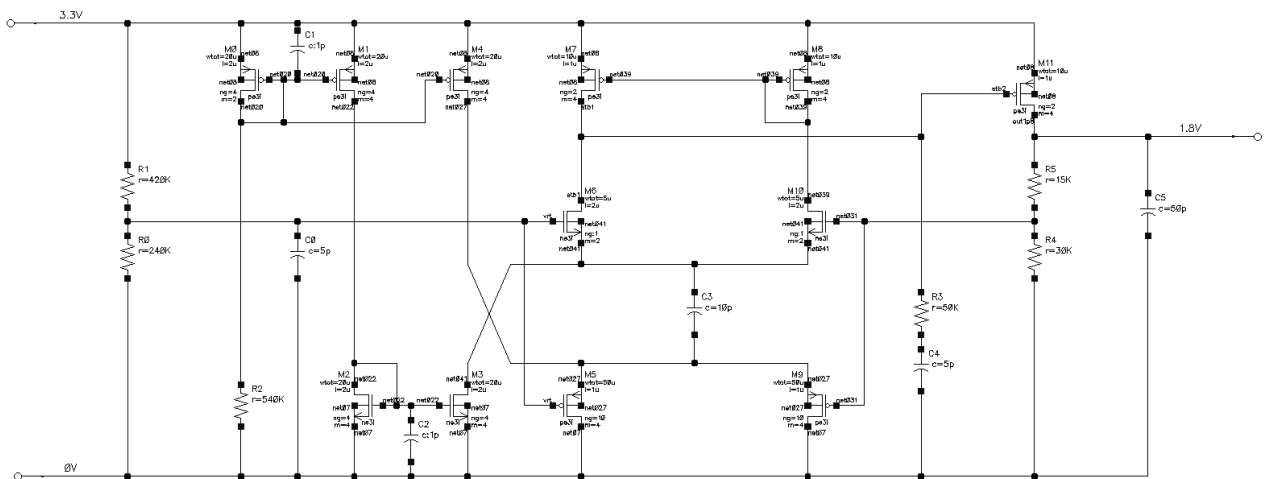
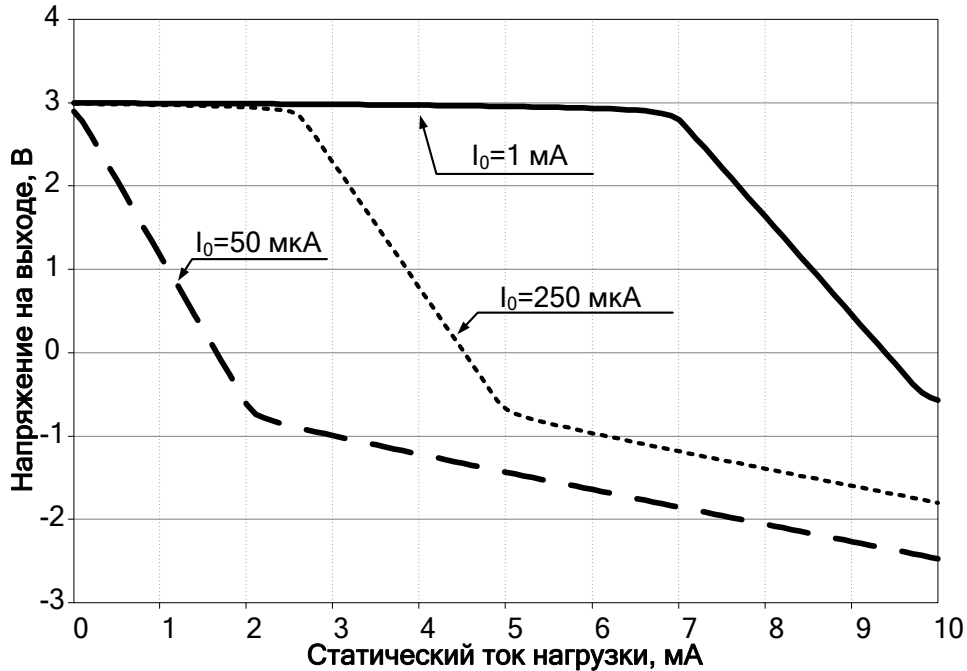


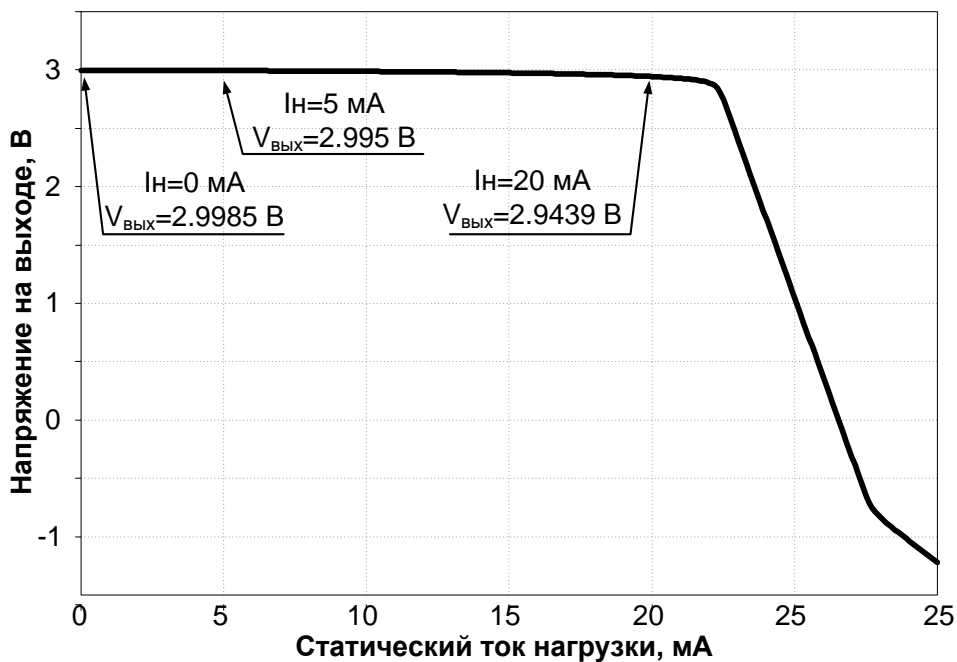
Рис. 3 КСН рис. 1 в среде Cadence на моделях транзисторов XFAB

4. Ожидаемые параметры и характеристики КСН

Компьютерное моделирование зависимости выходного напряжения стабилизатора рис. 2 от статического тока нагрузки при $I_3=10$ мкА, $R_1=R_H=2$ кОм, $C_3=C_{ВЫХ}=80$ пФ, $U_{ОП}=V_3=3$ В для разных токов $I_1=I_0$ показано на рисунке 4.



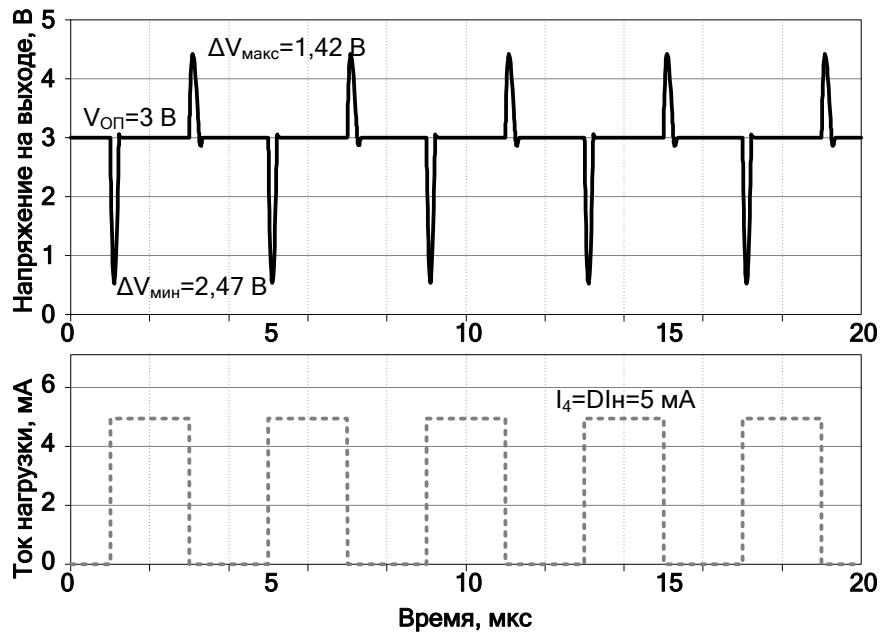
а)



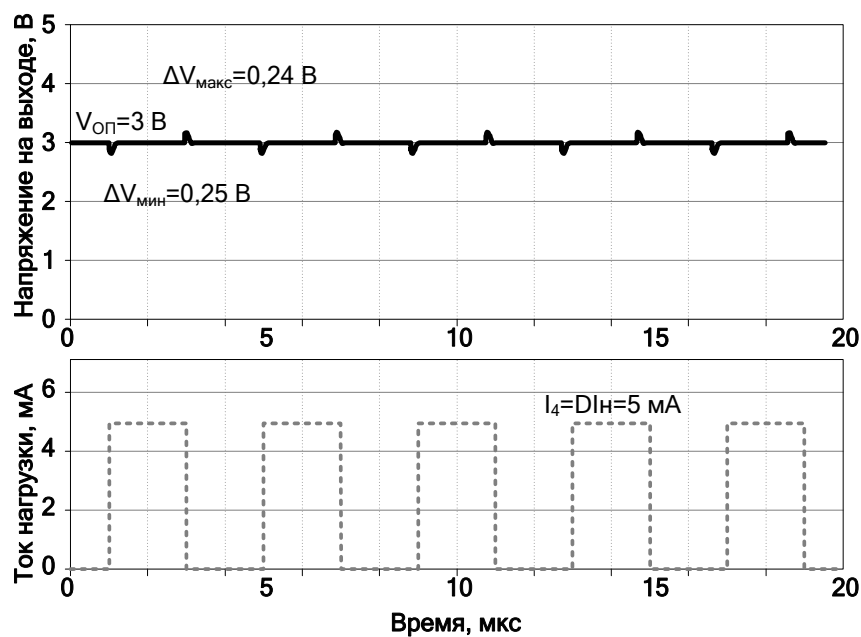
б)

Рис. 4 – Зависимость выходного напряжения КСН рис. 2 от статического тока нагрузки $I_H=I_4$, при $R_H=2$ кОм, выходном конденсаторе $C_{ВЫХ}=80$ пФ, первом корректирующем конденсаторе $C_1=80$ пф, $U_{ОП}=3$ В при реализации РЭ на одном р-п-р транзисторе (а) и при реализации РЭ на составном транзисторе Дарлингтона (б)

Зависимость выходного напряжения стабилизатора рис.2 от импульса тока нагрузки $\Delta I_H = I_4 = 5$ мА при $I_1 = I_2 = 50$ мкА, $I_3 = 10$ мкА, $R_1 = R_H = 2$ кОм, $C_1 = C_3 = C_{ВЫХ} = 80$ пФ, $U_{ОП} = V_3 = 3$ В для разных значений емкости второго C_2 корректирующего конденсатора представлена на рисунке 5.



а)



б)

Рис.5 – Зависимость выходного напряжения КСН рис.2 от импульсов тока нагрузки при $C_2 = 0.02$ пФ(а) и $C_2 = 20$ пФ (б)

График на рисунке 5 показывает, что при использовании источников тока и токовых зеркал, близких к идеальным в КСН рис. 2, возможно уменьшение всплесков и провалов выходного напряжения в 4÷10 раз. При этом, стоит

учитывать, что возможна более тщательная оптимизация схемы, что приведет к гораздо большему коэффициенту подавления «всплесков» и «провалов».

Зависимость амплитуды «всплесков – провалов» выходного напряжения КСН рис. 3 (полный размах колебаний, В) при реализации КСН по технологии XFAB от емкости второго C_2 корректирующего конденсатора представлена на рисунке 6.

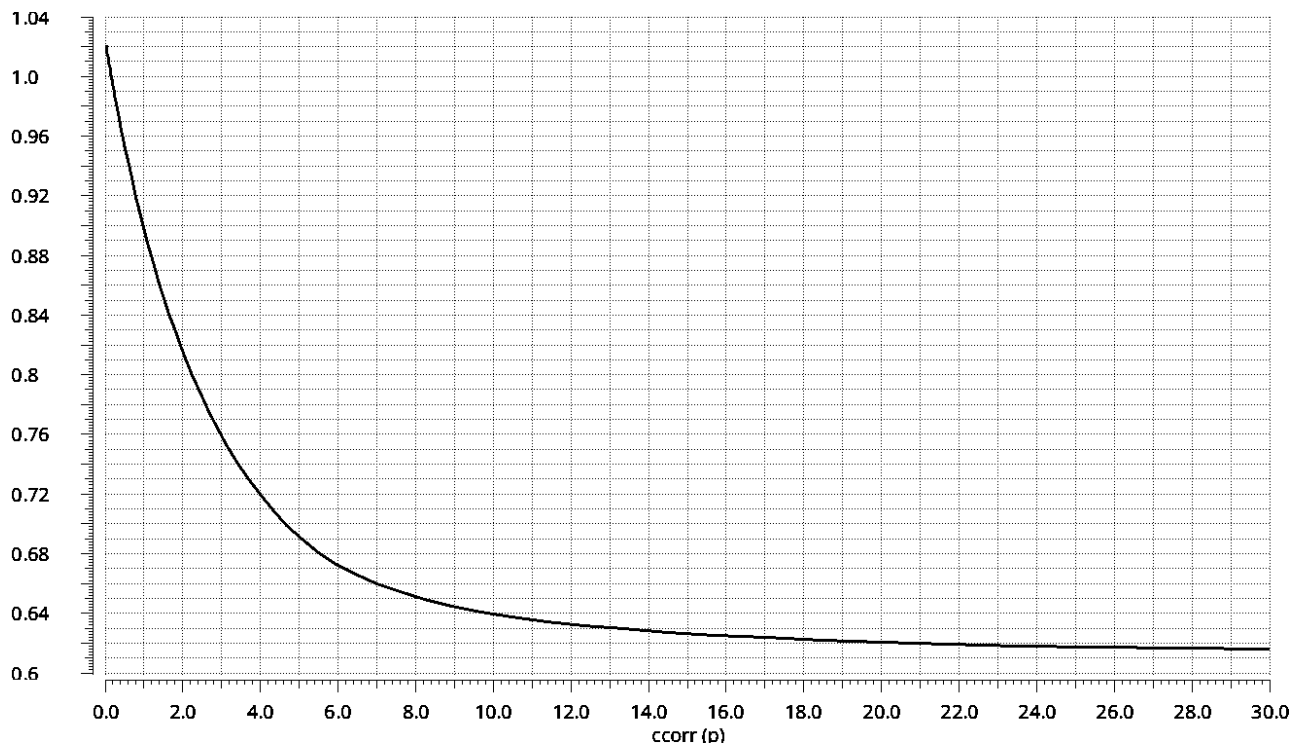


Рис.6 – Зависимость амплитуды «всплесков – провалов» выходного напряжения КСН рис. 3 от емкости второго C_2 корректирующего конденсатора

Рассматриваемый стабилизатор напряжения рис. 1 решает также задачу уменьшения времени переходного процесса в КСН при коммутации уровня источника опорного напряжения $U_{оп}$ с помощью цифровых ключей. Такая необходимость возникает при переходе с одного уровня стабилизируемого напряжения КСН на другой (см. патент US 7.847.645, fig. 9, 2010 г.).

Потребление тока в статическом режиме КСН рис. 2 при реализации на базовом матричном кристалле АБМК составляет 1,64 мА. Потребление тока при реализации КСН по XFAB технологии – 0,075 мА.

5. Параметры оптимизации схемы рис. 1

Практический интерес представляет определение оптимальных значений корректирующих конденсаторов $C_{к1}$, $C_{к2}$, $C_{вых}$ и статических токов I_1 , I_2 , влияющих на энергопотребление КСН, запас устойчивости по фазе, максимальную амплитуду «всплесков» и «провалов» выходного напряжения, а также их длительность, геометрию транзисторов, структуру токового зеркала и регулирующего элемента и т.п.

Разработка выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект 16-19-00122)

6. Netlist в Spice (рис.3)

```
Q1 N002 N004 N006 0 npn
Q2 N003 out N006 0 npn
Q4 0 out N007 0 pnp
Q3 0 N004 N007 0 pnp
I1 N006 0 {ivar}
I2 vcc N007 {ivar}
C2 N006 N007 20p
V1 vcc N003 0
F1 vcc N002 V1 1
Q5 out N001 vcc 0 pnp
R1 out 0 2k
V2 vcc 0 5
I3 out 0 10u
V3 N004 0 3
C1 N002 N005 80p
C3 out 0 80p
Q6 0 N002 N001 0 pnp
Q7 out N001 vcc 0 pnp
Q8 out N001 vcc 0 pnp
Q9 out N001 vcc 0 pnp
Q10 out N001 vcc 0 pnp
R2 N005 0 500
I4 out 0 PULSE(0 5m 1u 1f 1f 2u 4u 5)
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\\LT\\ABMK-2.2-1.lib
.param Rvar=2k
.param Vvar=0
.param LT=30
.temp={LT}
.param ivar=0.05m
.tran 0 20u 0 1n
* .op
* .step param ivar list 1u 50u 250u 1m
.param VTOValue=1.925
.param fit=1
.param fn=1
.param Dg=1
* .step param Rvar list 1 0.1 0.001
.param Ccor=1p
* .step param Ccor 1p 150p 1p
* .dc I4 10u 50m 100u
.backanno
.end
```