

15
Б-53
537

~~СРЗ - СМТ - 20~~



ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО

P - 537

И.М. Бескровный, И.А. Курагина

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИВОД
ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Дубна 1980 год

P - 537

И.М. Бескровный, И.А. Курагина

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИВОД
ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Направлено в журнал
"Вопросы радиоэлектроники"

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

725/9 чр.

Описывается схема полупроводникового привода для реверсивного двигателя постоянного тока. Регулирование скорости двигателя осуществляется изменением длительности импульсов тока, поступающих в якорную обмотку двигателя, реверсирование - изменением полярности этих импульсов.

При проектировании следящих систем часто выбирают двигатели постоянного тока из-за преимуществ, которыми они обладают: плавная регулировка скорости в широком диапазоне, малые габариты и малый вес.

Известны также преимущества и полупроводниковых схем: экономичность, надежность, малый вес и габариты, долговечность. Отсюда естественно стремление соединить в схеме электропривода все достоинства двигателей постоянного тока и полупроводниковых схем. Однако на этом пути возникают большие затруднения. Дело в том, что большинство двигателей постоянного тока имеют величину управляющего напряжения 110 в, что является для полупроводниковых триодов пока неприемлемым. Некоторые двигатели имеют управляющее напряжение 24-27 в.

Описываемая ниже схема и предназначена для использования с такими двигателями. Если использовать полупроводниковые триоды в режиме линейного усиления напряжения, то преимущества полупроводниковой схемы не компенсируют тех недостатков, которые присущи данному режиму.

Триоды обладают большой температурной нестабильностью, кроме того, мощность, отдаваемая в нагрузку, ограничивается в линейном режиме допустимой мощностью рассеяния самого триода.

Если же использовать триод в режиме переключения, то положение резко меняется. В режиме переключения триод обычно находится в одной из двух областей низкой мощности рассеяния: либо при высоком коллекторном напряжении через триод протекает ничтожный ток /триод "заперт"/, либо при большом коллекторном токе напряжение эмиттер-коллектор близко к нулю /триод "открыт"/. В этом режиме триод может управлять мощностью, которая в десятки раз превышает допустимую мощность рассеяния. Например триоды П13-П15, имеющие мощность рассеяния 150 мвт, могут управлять мощностью до 3 вт. Кроме того, в режиме переключения температурная нестабильность характеристик триодов не сказывается на работе схемы в широком диапазоне температур.

Указанные преимущества режима переключения и определили выбор импульсного метода управления.

На фиг. 1 представлена блок-схема электропривода. На обмотку двигателя

поступают импульсы постоянной амплитуды и частоты. Направление тока в обмотке двигателя зависит от того, какой из каналов /1 или 11/ работает, что в свою очередь определяется фазой управляющего сигнала.

Скважность импульсов /отношение длительности импульса к периоду повторения/ зависит от величины управляющего сигнала. Для того, чтобы величина постоянной составляющей тока якоря достигла в предельном случае амплитуды тока в импульсе, скважность импульсов регулируется от нуля до единицы, т.е. от очень узких импульсов до постоянного тока. В качестве генератора таких импульсов использован триггер Шмидта, на вход которого поступает пила постоянной амплитуды, а уровень порога регулируется напряжением сигнала.

На фиг. 2 показана принципиальная схема фазочувствительного выпрямителя, одного из каналов и выходного каскада. Фазочувствительный выпрямитель использован обычный, с тем небольшим отличием, что поставлены эмиттерные повторители /ПТ₁ и ПТ₂ - триоды П-8/, так как триггер Шмидта имеет низкоомный вход, а выход сельсина-приемника, с которого обычно поступает $U_{св}$, высокоомный.

При расчете триггера Шмидта можно исходить из предположений, что открытый триод представляет узел тока, а запертый - разрыв цепи. Тогда для двух положений триггера мы будем иметь две эквивалентные схемы /фиг.3/

Фиг. 3а соответствует положению, когда ПТ₄ заперт, а ПТ₃ открыт и фиг. 3б - ПТ₄ открыт, а ПТ₃ - заперт.

Триоды ПТ₃ и ПТ₄ - П14. При применении этих триодов в переключающих схемах типа триггера целесообразно задаваться коллекторным током открытого триода порядка 5 ма, т.к. при этом токе β триода имеет максимальное значение, $I_{ко}$ - значительно меньше рабочего тока и значит его температурное изменение не оказывает никакого влияния; в то же время рабочий ток не настолько велик, чтобы уменьшать экономичность схемы. Для надежности работы триггера амплитуду импульса на коллекторе $\Delta U_{кол}$ следует брать не более $\frac{2}{3} E_k$. Тогда при $E_k = 12$ в $\Delta U_{кол} = 8$ в.

При отсутствии управляющего сигнала ПТ₃ должен был открыт настолько, чтобы пила, поступающая на вход триггера, не могла бы его закрывать, т.е. потенциал базы ПТ₄ должен быть положительнее потенциала эмитера на вели-

чину, равную амплитуде пилы. Выбор амплитуды пилы довольно произволен, но при большой амплитуде пилы будет мал коэффициент передачи триггера Шмидта, выражаемый как

$$K_T = \frac{Q}{U_{ур}} \left[\frac{1}{\delta} \right], \quad \text{где } Q \text{ - скважность [1]}$$

Выбирать амплитуду пилы очень малой также не следует, так как триггер Шмидта имеет нестабильность порога порядка 0,1 в. В описываемой схеме амплитуда пилы порядка 4 в, таким образом при изменении управляющего напряжения от 0 до 2 в скважность меняется от 0 до 1.

Обратимся к фиг. 3а. Если выбрать, как упоминалось выше $\Delta U_K = 8\text{в}$, то $U_3 = E_K - \Delta U_K = 4\text{в}$

$$i_{\delta} = \frac{i_K}{\beta} \cdot \eta = \frac{5}{50} \cdot 2 = 0,2 \text{ ма}, \quad (12)$$

де $\eta = 2$ - коэффициент насыщения.

Выберем $i_{g1} = 1 \text{ ма}$, тогда

$$R_2 = \frac{U_3}{i_{g1}} = 3,9 \text{ ком} \quad (13)$$

$$R_1 = \frac{E_K - U_3}{i_{\delta 1} + i_{g1}} = 6,8 \text{ ком} \quad (14)$$

$$R_3 = \frac{U_3}{i_K + i_{\delta 1}} = 750 \text{ ом} \quad (15)$$

или принять $i'_{g2} \ll i_K$, то

$$R_3 = \frac{E_K - U_3}{i_K} = 1,6 \text{ ком} \quad (16)$$

противление R_6 /фиг 3б/ можно принять равным $R_3 = 1,6 \text{ ком}$.

Из условия

$$\frac{U_3}{R_4 + R_5} \cdot R_5 = U_{\delta 2} = U_3 - U_{зап} \quad (17)$$

при $U_3 = 48$ и $U_{зан} = 26$ получаем $R_4 = R_5 = R$.

Из эквивалентной схемы фиг. 36 имеем:

$$i_{g2} = \frac{U_3}{R} \quad /8/$$

$$R(i_{02} + i_{g2}) + R_3(i_{02} + i_{g2}) = E_K - U_3 \quad /9/$$

Из /8/ и /9/ получаем $R = R_4 = R_5 = 10 \text{ кОм}$.

Усилитель мощности не содержит емкостей и трансформаторов, которые помешали бы получить скважность, равную единице. Все сопротивления рассчитаны так, чтобы обеспечить работу всех триодов в режиме переключения.

Значения номиналов указаны на схеме /фиг. 2/.

ПТ₃ - П14 ПТ₄ - П14 ПТ₅ - П14 ПТ₆ - П14 ПТ - П202

ПТ₈ - П4Д ПТ₉ - П4Д ПТ₁₀ - П4Д ПТ₁₁ - П4Д

Двигатель СЛ-281 ЧН-248 $n = 5000 \text{ об/мин}$ $I_n = 2,14 \text{ а}$
 $I_b = 0,26 \text{ а}$ $P_{упр} = 50 \text{ Вт}$ $P_{пол на валу} = 26 \text{ Вт}$

В качестве генератора пилы используется мультивибратор. Прямоугольные импульсы, получаемые с его коллекторов, интегрируются и через эмиттерные повторители подаются на входы ТШ_I и ТШ_{II}. При этом пилообразные импульсы одной последовательности сдвинуты относительно импульсов другой последовательности на полпериода. Схема настроена так, что при нулевом сигнале узкие импульсы существуют в обоих каналах. Затем при нарастании сигнала определенной фазы импульсы в одном из каналов начнут расширяться, а в другом — сузиться до нуля. Это сделано для устранения "электронного люфта"

схемы. Благодаря такой настройке схема имеет очень хорошую линейную характеристику у нуля. На фиг. 4 представлена экспериментальная характеристика зависимости скорости двигателя от величины сигнала $U_{ав}$.

Рассмотрим передаточную функцию усилителя от входа триггера Шмидта до обмотки двигателя.

На вход триггера поступает постоянное управляющее напряжение меняющееся по величине, а на обмотку двигателя подается импульсное напряжение постоянной амплитуды и переменной скважности.

В операторной форме такое напряжение можно записать в виде:

$$U_{гв}(p) = U_m \frac{1 - e^{-TQ(p)/p}}{p(1 - e^{-Tp})} \quad /10/$$

Здесь $Q(p)$ - скважность, T - период следования импульсов

$$Q(p) = K_T \cdot U_{упр}(p) \quad /11/$$

K_T - коэффициент передачи триггера Шмидта.

Из /10/ и /11/ получаем трансцендентное уравнение, связывающее $U_{гв}(p)$ и $U_{упр}(p)$

$$U_{гв}(p) = U_m \frac{1 - e^{-K_T \cdot U_{упр}(p) T / p}}{p(1 - e^{-Tp})} \quad /12/$$

Если выбрать период T так, чтобы он был много меньше постоянной времени двигателя $T \ll T_{гв}$, то в уравнении /12/ можно разложить экспоненты в ряд и ограничиться первыми членами этого ряда.

Тогда

$$U_{гв}(p) = U_m \frac{1 - 1 + K_T \cdot U_{упр} \cdot T / p}{p(1 - 1 + Tp)} = U_m \frac{K_T \cdot U_{упр}}{p} \quad /13/$$

Согласно определению операторное выражение передаточной функции есть

$$\frac{U_{гв}(p)}{U_{упр}(p)} \text{ при входной функции } U_{упр}(p) = \frac{U_{упр}}{p}.$$

Тогда из /13/ имеем: $K(p) = U_m \cdot K_T = K_H$.

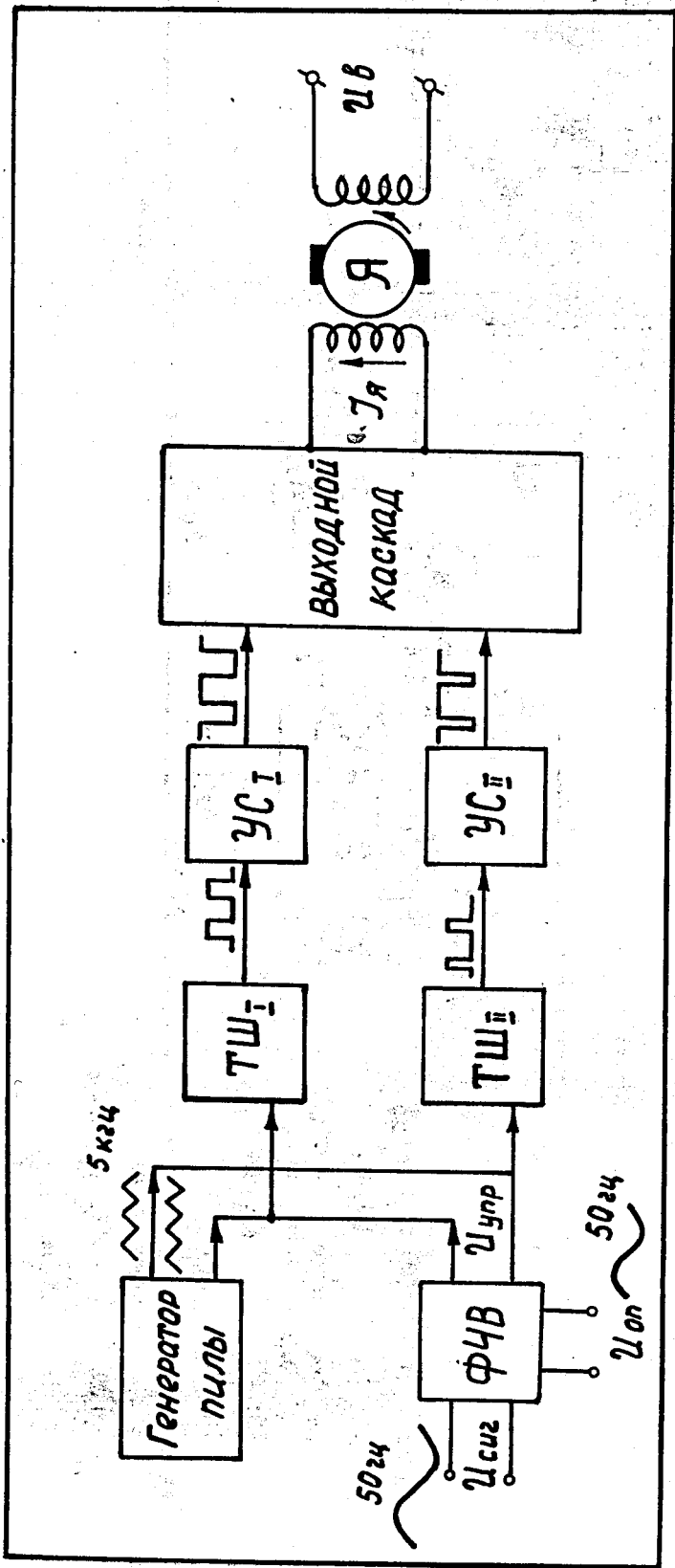
В описываемой схеме $K_T = \frac{1}{2} \frac{1}{\text{Вольт}}$ $U_m = 27\text{В}$ и коэффициент
 усиления по напряжению $K_n = 27 \cdot \frac{1}{2} = 13,5$.

Коэффициент усиления по мощности $K_M = 25 \cdot 10^3$.

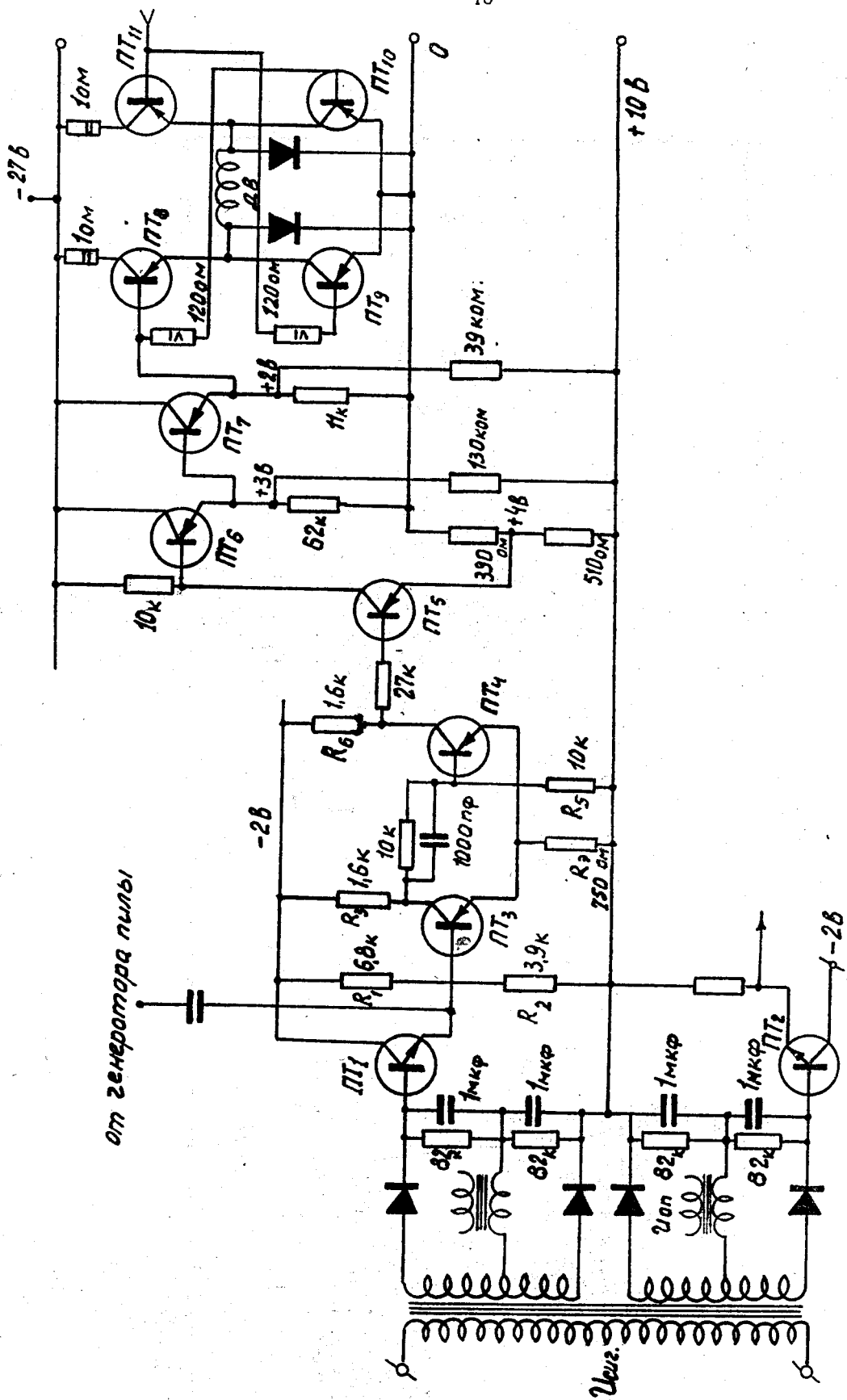
Период повторения импульсов 180 мксек.

Коэффициент полезного действия схемы 0,81.

Рукопись поступила в издательский отдел
 14 мая 1960 года.

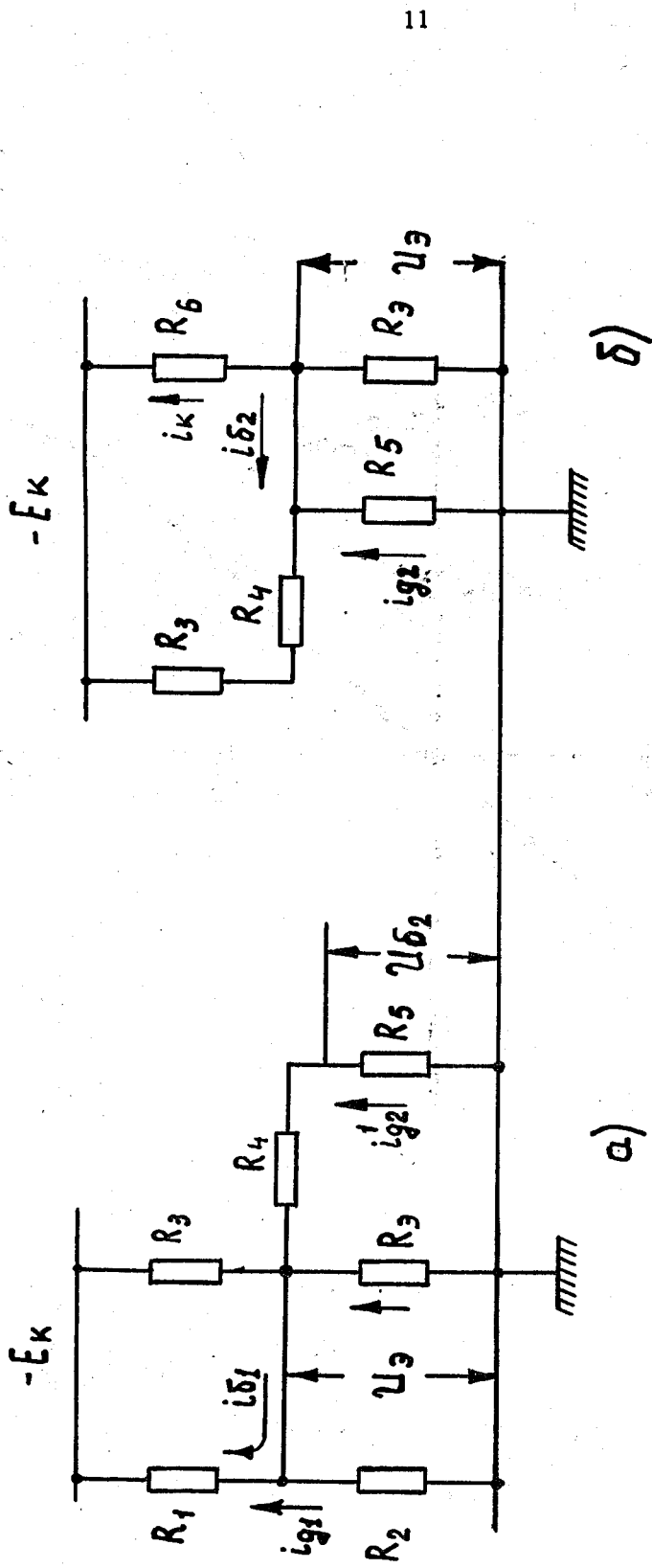


Фиг. 1.

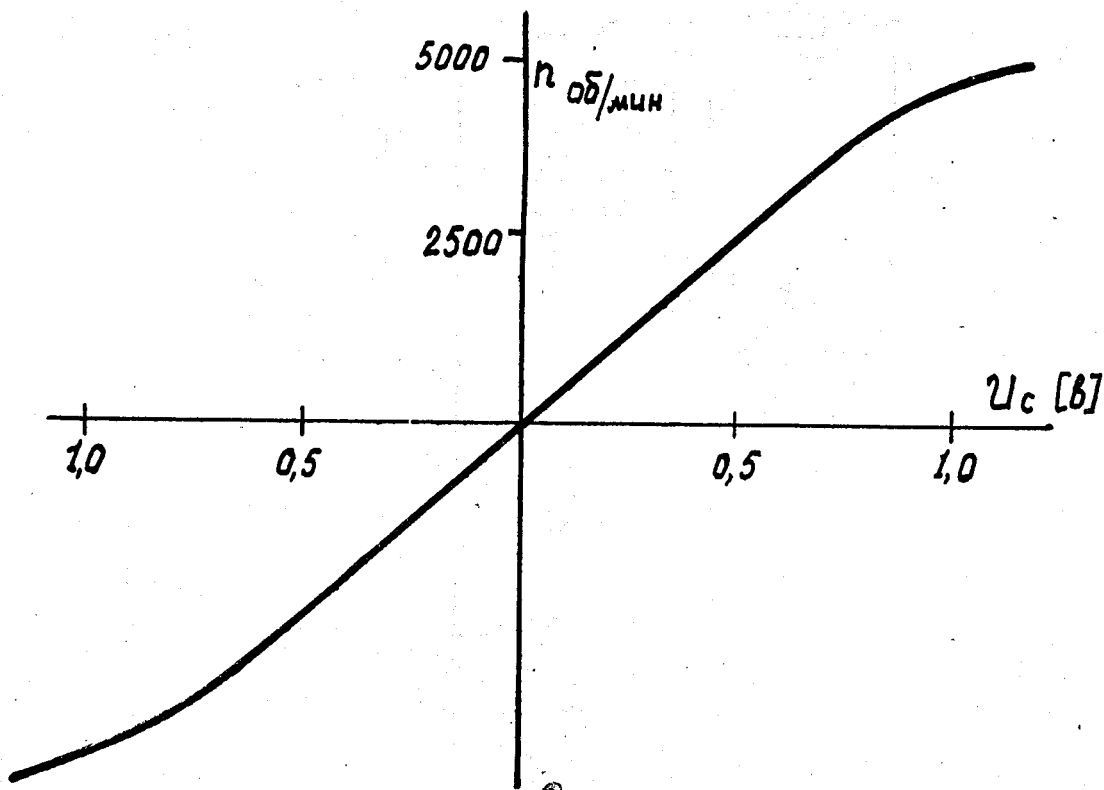


от генератора пыли

Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.