

18  
Д-33

14.11.67



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

---

Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич

1418

**ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
ПРИ ПОМОЩИ ГЕРМАНИЕВЫХ ТРИОДОВ**

Дубна 1963

Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич

1418

21 12/2 48

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
ПРИ ПОМОЩИ ГЕРМАНИЕВЫХ ТРИОДОВ

СОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

Экспериментальные исследования<sup>1,2/</sup> показывают, что для большинства типов германиевых триодов существующая зависимость их параметров  $\alpha$  или  $\beta$  от величины напряженности внешнего магнитного поля такова, что целесообразно рассмотреть возможность создания магнитометров с полупроводниковыми триодами в качестве датчиков поля.

На рис. 1 и 2 показаны принципиальные схемы простейших вариантов магнитометров с датчиками на плоскостном и точечном германиевых триодах. Каждая из схем представляет собой мост, в одно плечо которого включен полупроводниковый триод-датчик поля. Если ток базы плоскостного или ток эмиттера точечного триодов постоянны, то при внесении датчиков в магнитное поле  $H$  изменятся коллекторные напряжения триодов  $U_k$  и мост разбалансируется, причем величина  $U_{\text{вых}}$  (рис.3) определяется напряженностью магнитного поля  $H$ . Зависимость выходного напряжения от величины магнитного поля для различных типов серийных плоскостных и точечных германиевых триодов показана на рис. 4-10. Эта серия характеристик позволяет судить о характере зависимости  $U_{\text{вых}} = f(H)$ , о величине чувствительности различных триодов к напряженности внешнего магнитного поля и о разбросе характеристик в сериях из 10 однотипных триодов. Величина  $U_{\text{вых}}$  определяется не только напряженностью внешнего магнитного поля  $H$ , но и ориентацией триодных датчиков в измеряемом магнитном поле. На рис. 11 и 12 показаны семейства характеристик  $U_{\text{вых}} = f(H)$  при различных значениях угла  $\phi$  для плоскостных и точечных триодных датчиков. Угол  $\phi$  - угол между нормалью к направлению движения неосновных носителей тока в области базы плоскостного или точечного триодов и направлением силовых линий магнитного поля.

На рис. 13 и 14 изображены характеристики  $U_{\text{вых}} = f(\phi)$  при  $H = \text{Const}$  для плоскостного и точечного триодов. Из характера четырех последних графиков следует, что триодные датчики могут использоваться для измерения не только абсолютной величины, но и направления полного вектора напряженности магнитного поля  $H$ .

Как следует из графиков  $U_{\text{вых}} = f(H)$ , показанных на рис. 4-10, чувствительность плоскостных полупроводниковых триодов в никелевых герметизирующих корпусах зависит от величины измеряемого магнитного поля. При  $H > 1000-2000$  э чувствительность составляет 600-1000 мкв/э, тогда как при меньших полях она резко падает. У триодов с корпусами из немагнитного материала (например, П5В) падение чувствительности в области малых полей незначительно. Для выяснения влияния магнитных корпусов на чувствительность датчиков к малым полям были проведены опыты с триодами, изъятными из стандартных корпусов и напаянными на немагнитные медные

подложки. В результате такой операции параметры триода несколько изменялись, но работоспособность их сохранялась. На рис. 15 для сравнения приведены графики зависимости  $U_{\text{вых}} = f(H)$  для триодов в стандартных корпусах и на немагнитной подложке. Результаты опытов показывают, что никелевые корпуса и выводы триодов оказывают существенное экранирующее действие при напряженности внешнего магнитного поля менее 2000 э, во много раз снижая чувствительность триодных датчиков в этом диапазоне полей.

Чувствительность триодных датчиков магнитометров зависит от ряда факторов - типа используемого триода, режима работы, параметров схемы (рис. 4-10 и рис.16-18).

Поскольку температура переходов очень сильно влияет на характеристики триода, результаты измерений магнитного поля также существенно зависят от температуры. На рис. 19 показаны зависимости выходного напряжения от температуры при  $H = \text{const}$ . Температурная ошибка для большинства триодных датчиков поля составляет 0,3-0,5% на градус. Для уменьшения температурной погрешности результатов измерений необходимо поддерживать температуру датчика постоянной (термостатирование) или ввести в схему прибора компенсирующий элемент (рис. 20). Сравнение температурных характеристик триодного датчика без компенсации и с компенсирующими элементами в виде термистора типа ММТ-1 (рис. 21) показывает, что даже такой простейший способ позволяет уменьшить температурную ошибку в 5-10 раз.

Если триодный датчик магнитометра внести в магнитное поле, то изменится мощность, рассеиваемая коллекторным переходом, а следовательно, и тепловой режим триода. Это приведет к дополнительным погрешностям измерений магнитного поля. Для того чтобы исключить ошибки, обуславливаемые этим эффектом, целесообразно использовать компенсационный способ измерений. Если в качестве датчика используется плоскостной триод, то напряженность магнитного поля измеряется по величине изменения тока базы  $I_{\text{б}}$ , необходимого для восстановления начального тока коллектора. Блок-схема магнитометра, основанного на этом принципе, показана на рис. 22. Для точечных триодов можно использовать компенсационный способ измерения с воздействием обратной связи не на  $I_{\text{б}}$ , а на ток эмиттера. На рис. 23 показана принципиальная схема магнитометра с точечным германиевым триодом в качестве датчика поля.

Контроль за величиной напряженности измеряемого магнитного поля производится в этой схеме по падению напряжения на сопротивлении в цепи эмиттера. На рис.24 показан ряд графиков зависимости  $U_{\text{вых}} = f(H)$  для трех типов германиевых триодов. Следует отметить, что при таком методе измерений чувствительность схемы определяется в основном, величиной сопротивления в цепи эмиттера  $R_{\text{э}}$  и может достигать нескольких милливольт на эрстед. Кроме того, поскольку мощность, рассеиваемая на коллекторном переходе  $P_{\text{к}} = \text{const}$ , режим полупроводникового датчика

можно выбрать ближе к оптимальному и таким образом получить выигрыш в чувствительности или линейности зависимости  $U_{\text{вых}} = f(H)$ .

Температурные исследования показали, что из плоскостных триодов наибольшей стабильностью и в то же время достаточной чувствительностью обладают германиевые л-р-л триоды типа П8-П11. На рис. 25 показана принципиальная схема магнитометра с триодом П8 в качестве датчика. Температурная компенсация осуществляется при помощи термистора ММТ-1, размещенного в выносной головке в тепловом контакте с триодным датчиком П8. Для измерения  $U_{\text{вых}}$  в приборе используется многопредельный милливольтметр типа М 194, позволивший разбить диапазон измеряемых магнитных полей на пять поддиапазонов. На рис. 26 показаны градуировочные графики для всех поддиапазонов.

Тщательная проверка разработанной схемы магнитометра с германиевым триодом типа П8 в качестве датчика показала, что измерение напряженности магнитного поля в широких пределах может производиться с точностью  $\approx 1\%$ .

Слабая чувствительность к малым магнитным полям является недостатком этого магнитометра, однако, как уже указывалось, использование триодов с корпусами из немагнитного материала позволит в значительной степени устранить этот недостаток.

Очень малый размер датчика (практически 0,1-1 мм), высокая чувствительность, достаточная во многих случаях точность позволяют широко использовать триодные датчики напряженности магнитного поля во многих экспериментах, связанных с измерениями магнитных полей.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.Н.Кокорева за помощь, оказанную при выполнении экспериментальных работ.

#### Л и т е р а т у р а

1. Henry A.Kampf. Electronic Industries, 17, 71 (1960).
2. Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич. О влиянии магнитного поля на характеристики полупроводниковых диодов и триодов. Препринт ОИЯИ 1083, Дубна, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 сентября 1963 г.

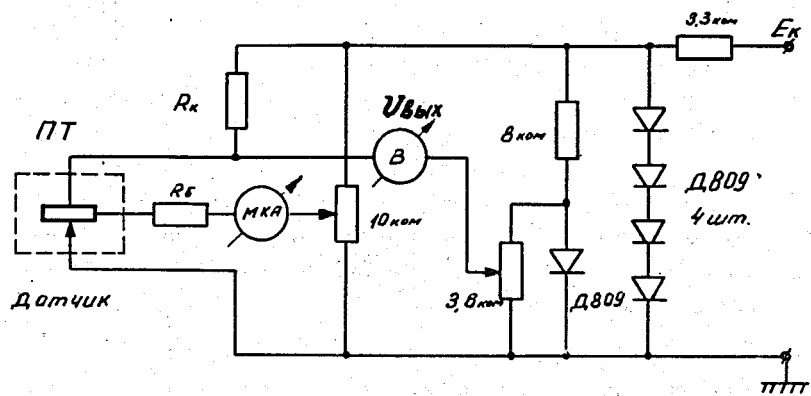


Рис. 1.

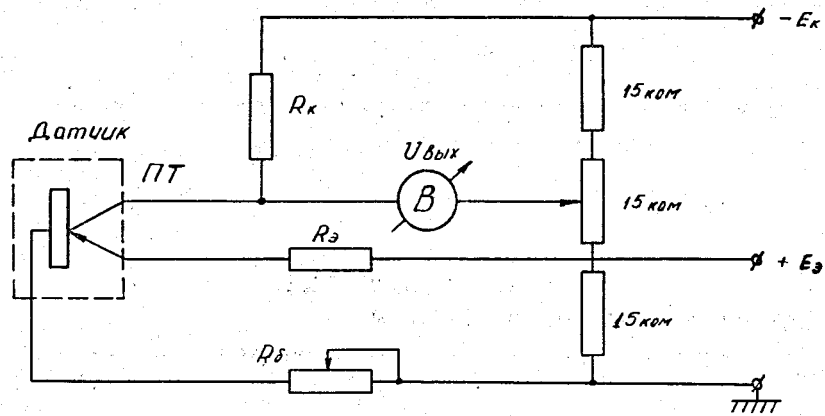


Рис. 2.

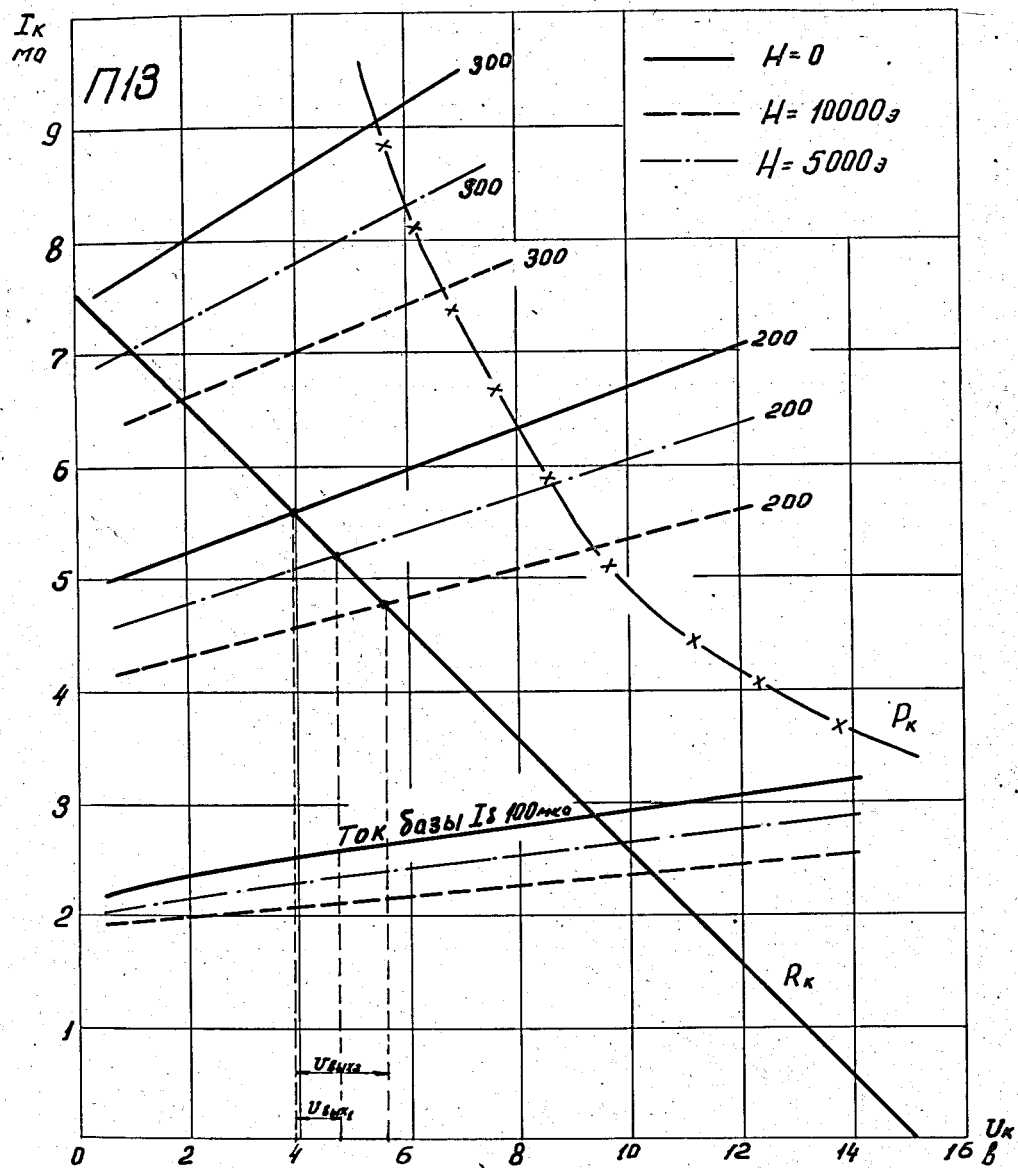


Рис. 3.

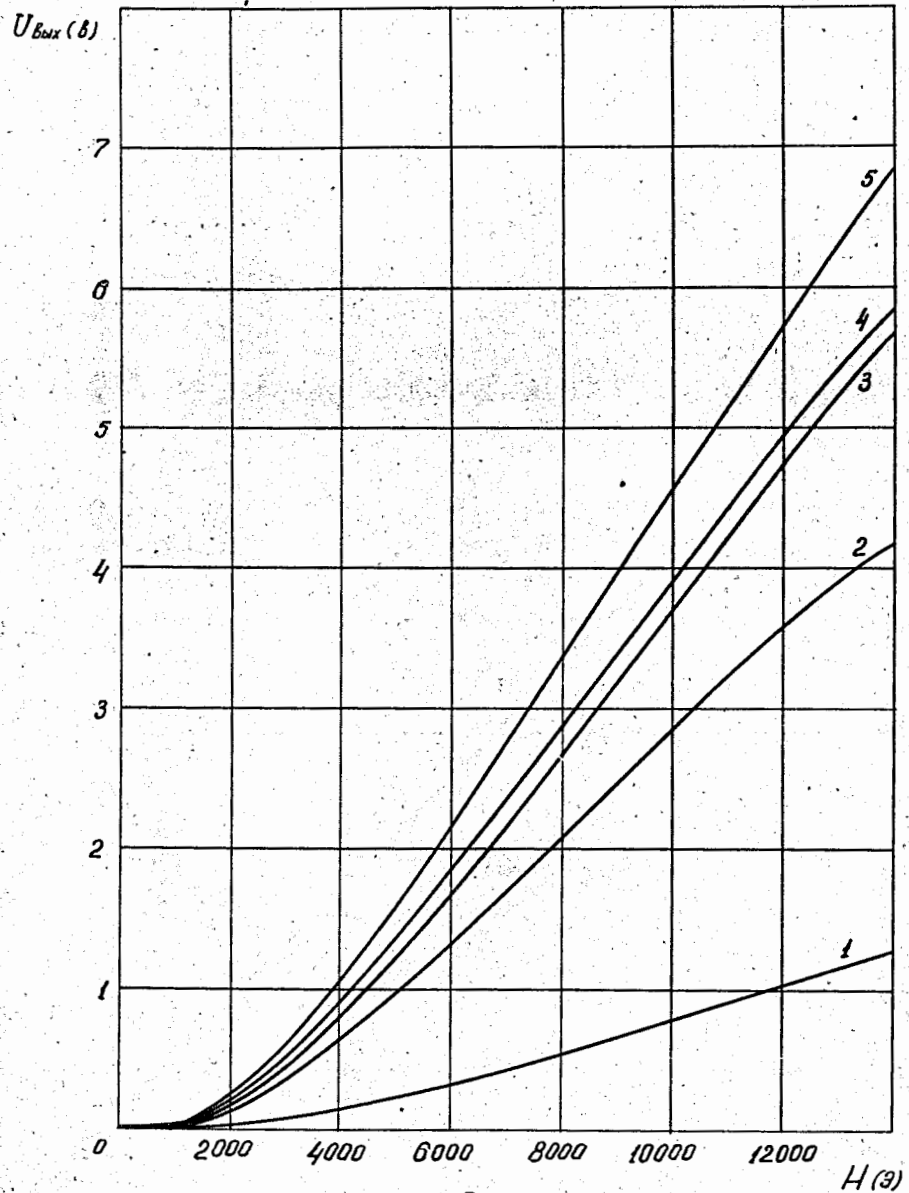


Рис. 4.

1- триод П407 ; 2- триод П16А ; 3- триод П13Б ;  
4- триод П25 ; 5- триод П26А.

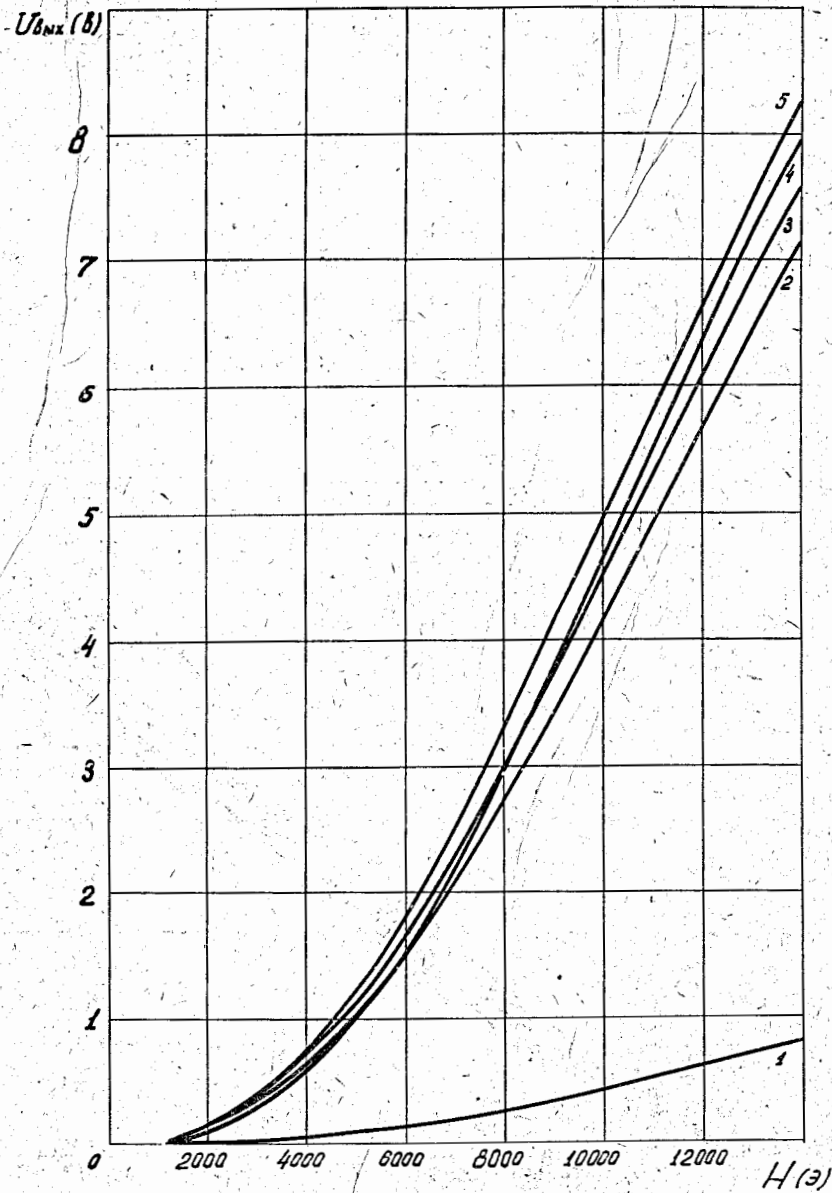


Рис. 5.

1- триод П101 ; 2- триод П11 ; 3- триод П8 ;  
4- триод П9А ; 5- триод П10.

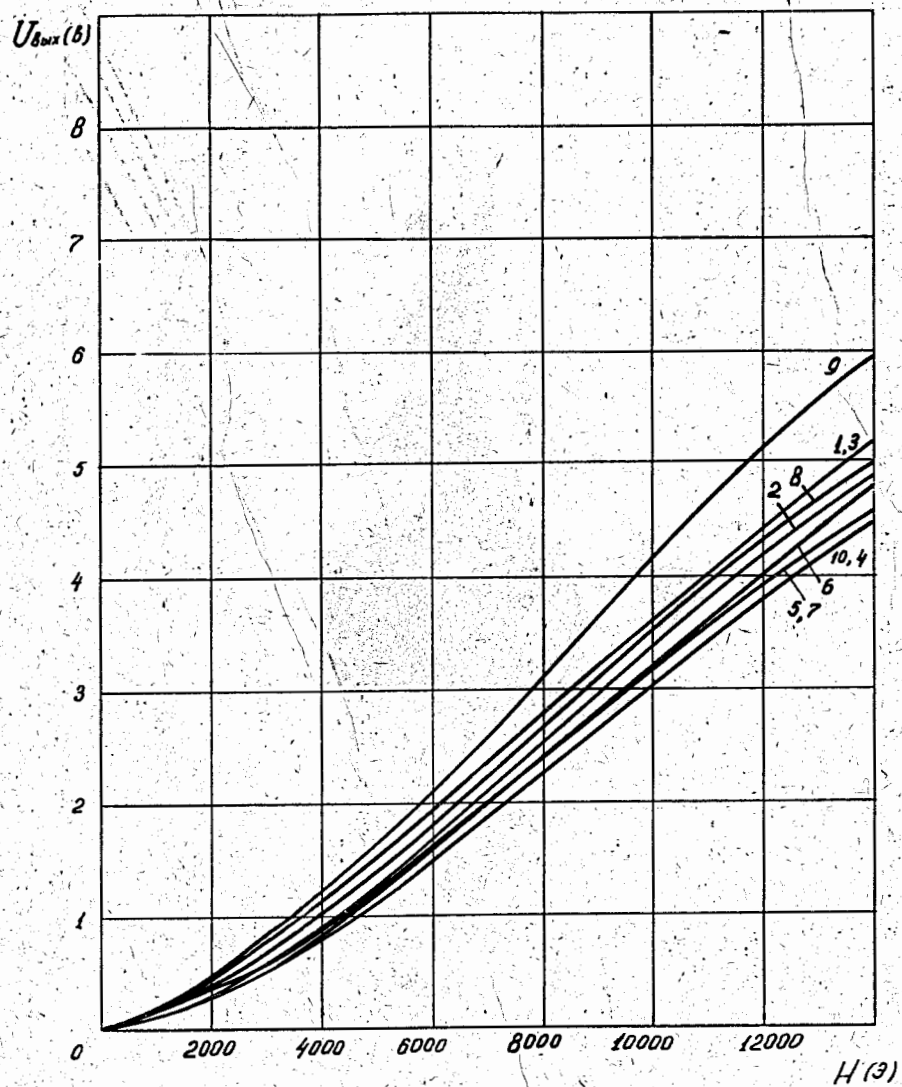


Рис. 6.

Триоды П5В.

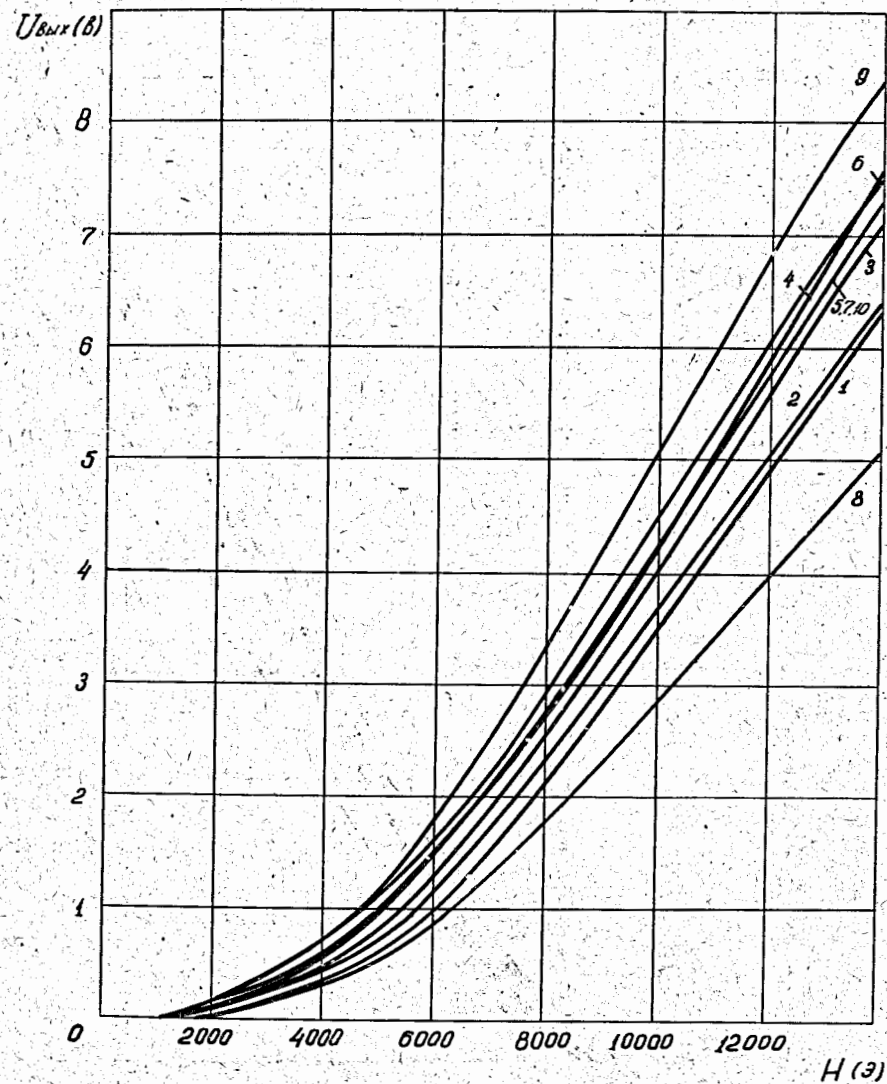


Рис. 7.

Триоды П8

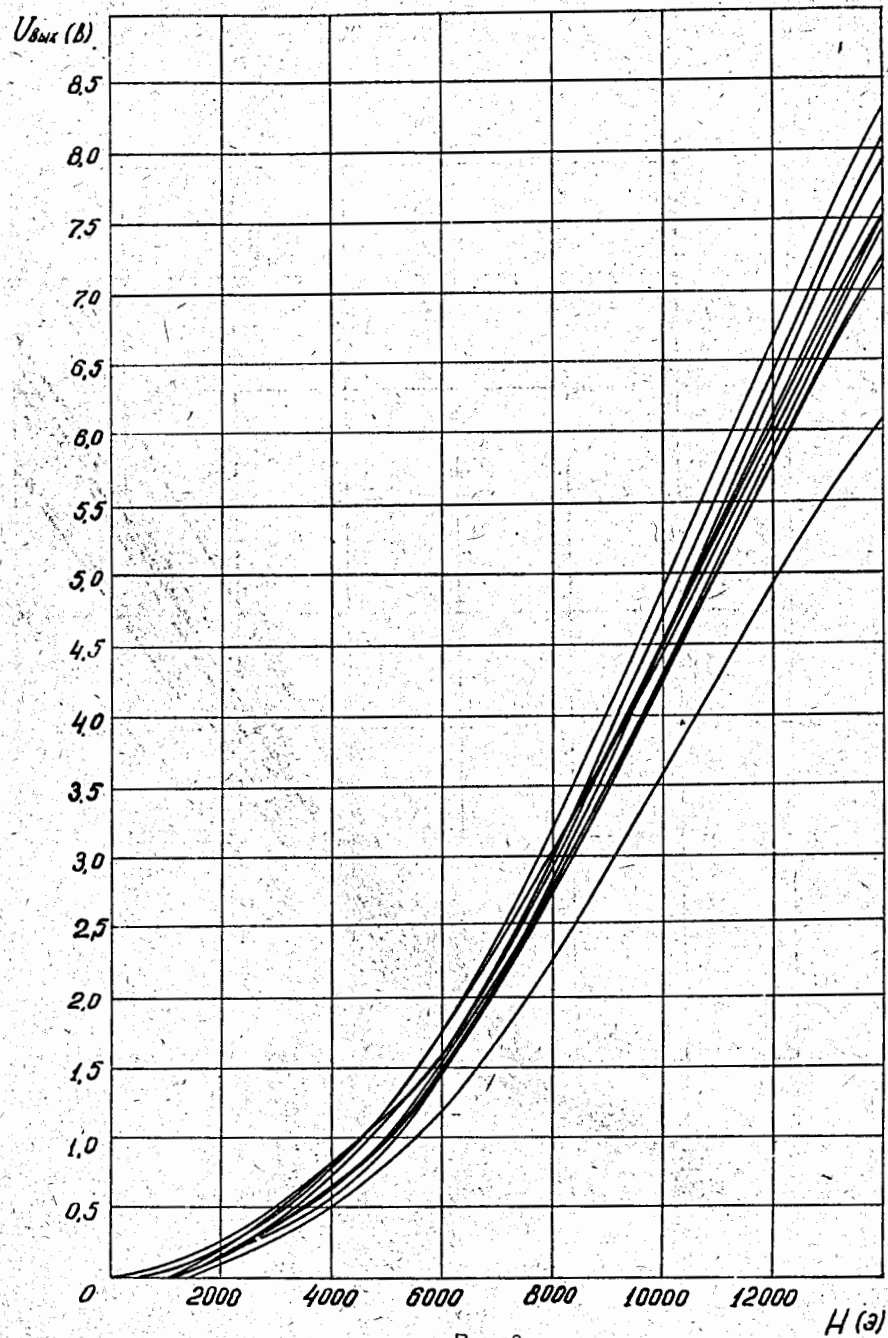


Рис. 8.

Триоды П10

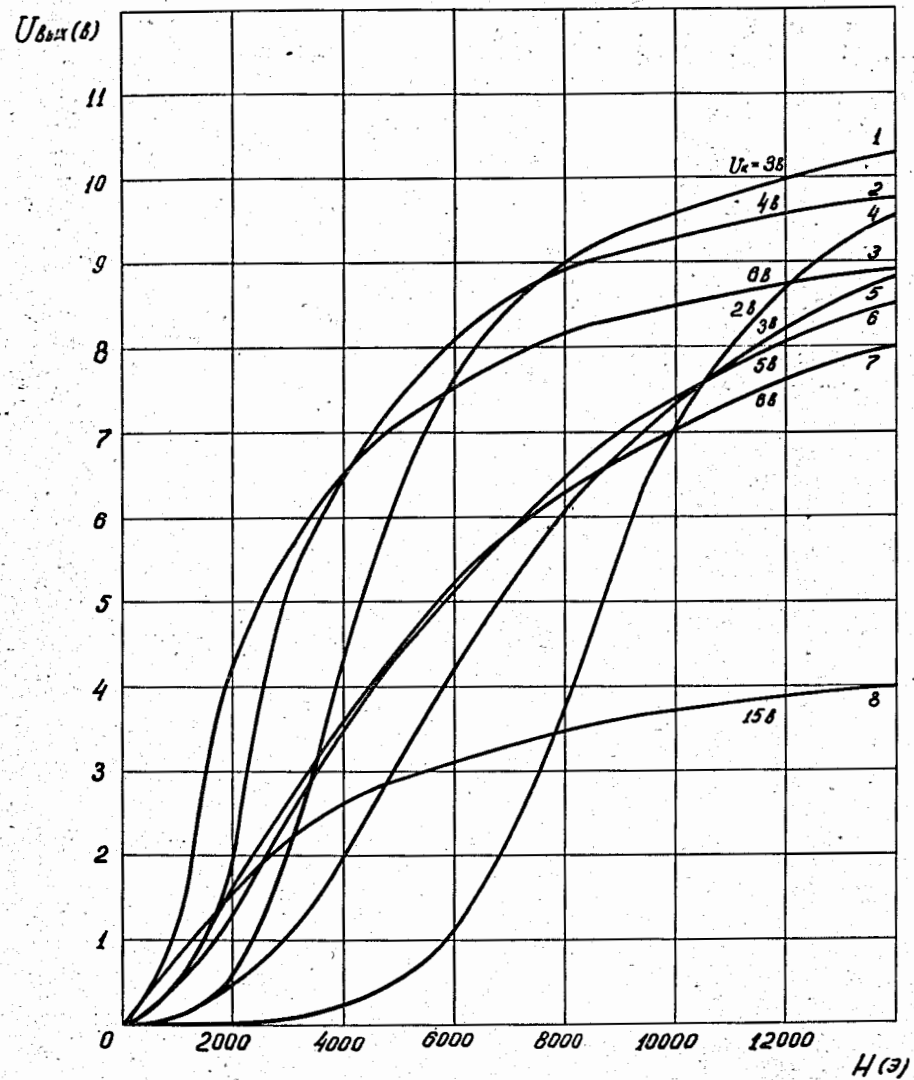


Рис. 9.

1, 2, 3 — триод С1В н 6.  
4, 5, 6, 7, 8 — триод С1А н 10.



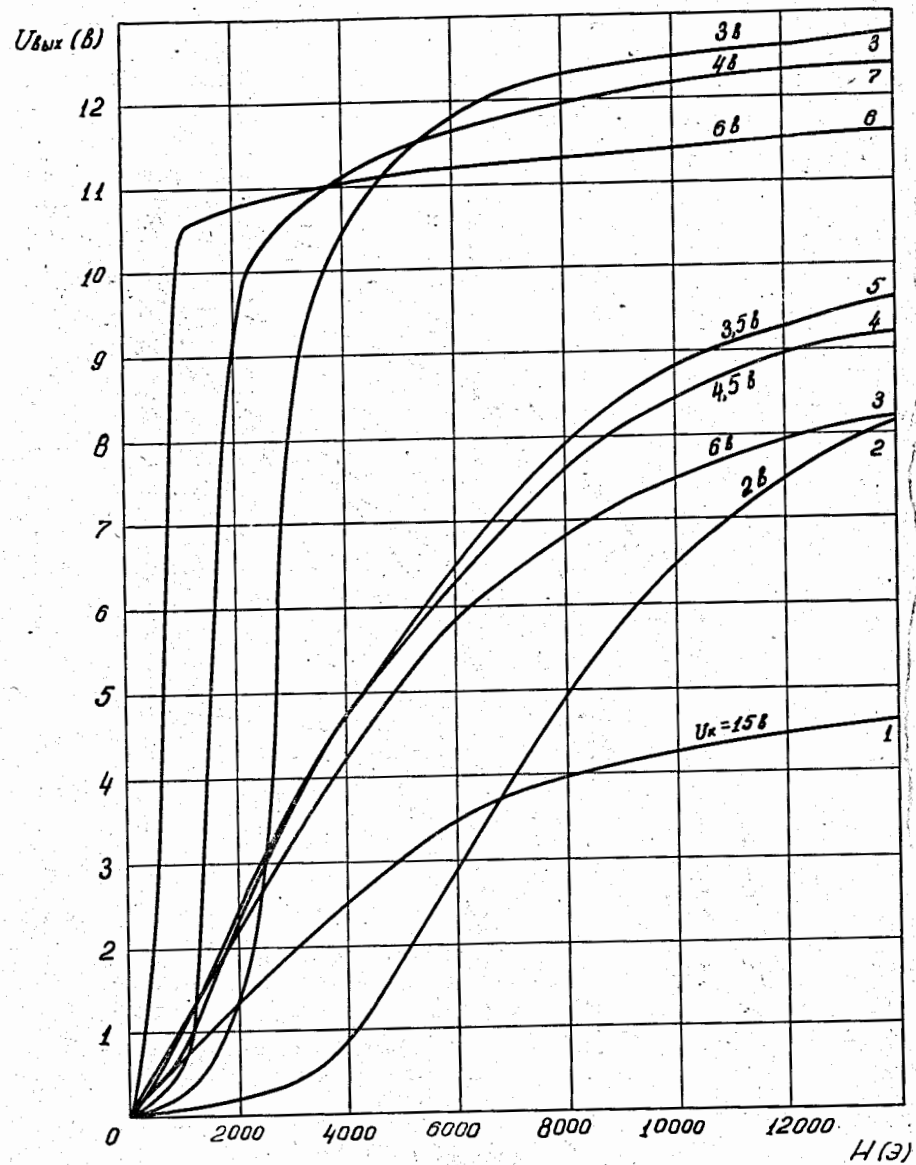


Рис. 10.

1,2,3,4,5 — триод С2А №8. 6,7,8 — триод С2А №23.

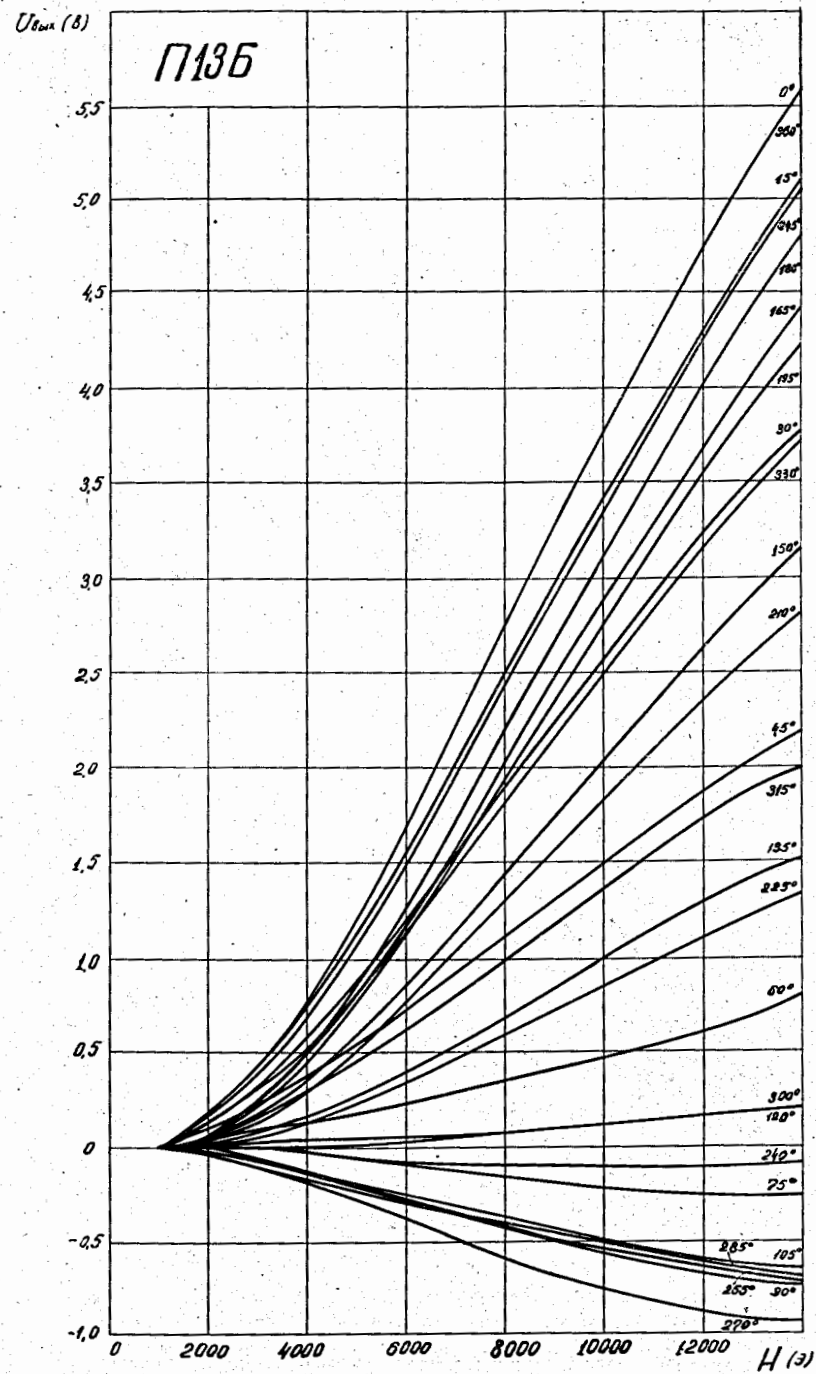


Рис. 11.

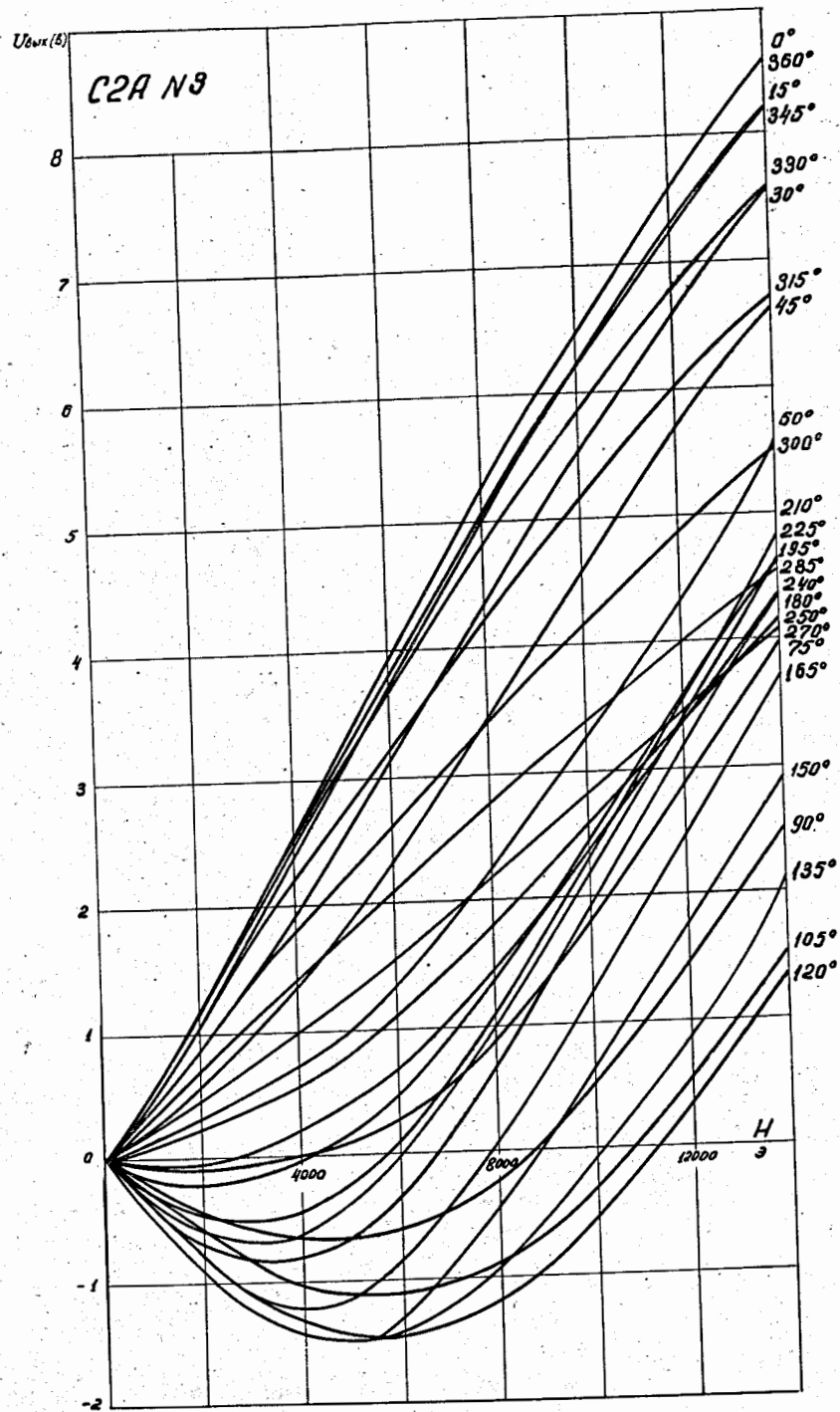


Рис. 12.

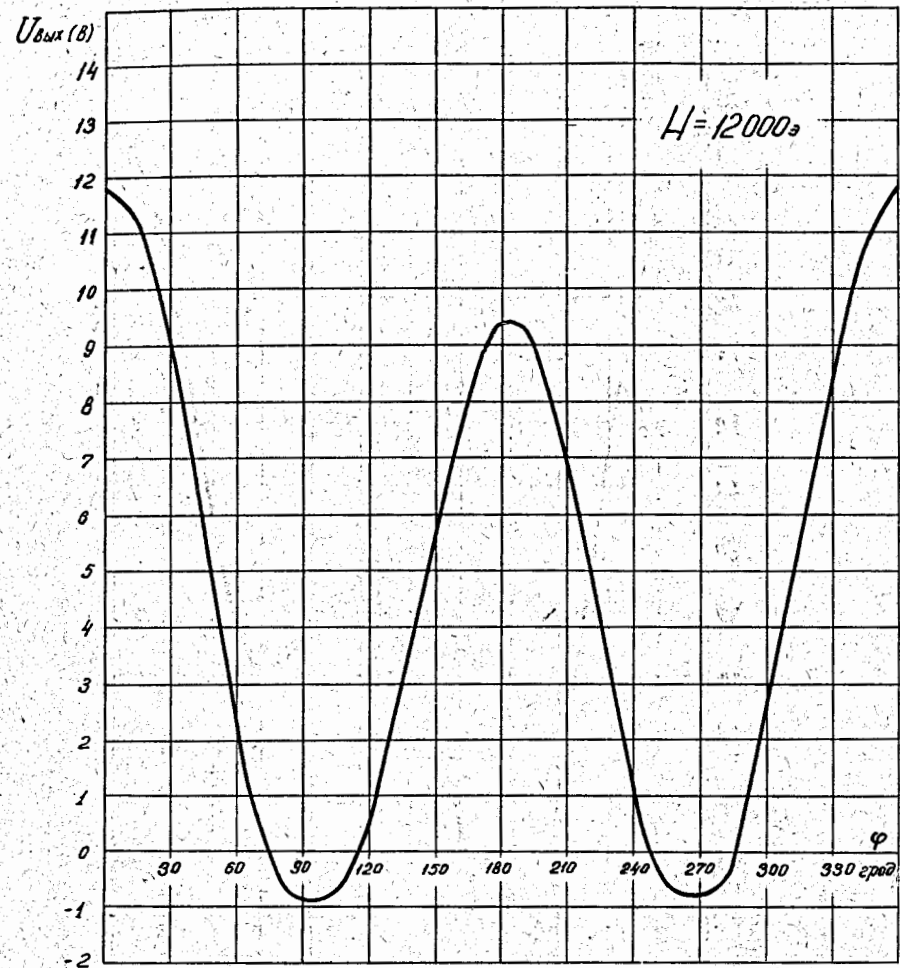


Рис. 13.

Триод П8.

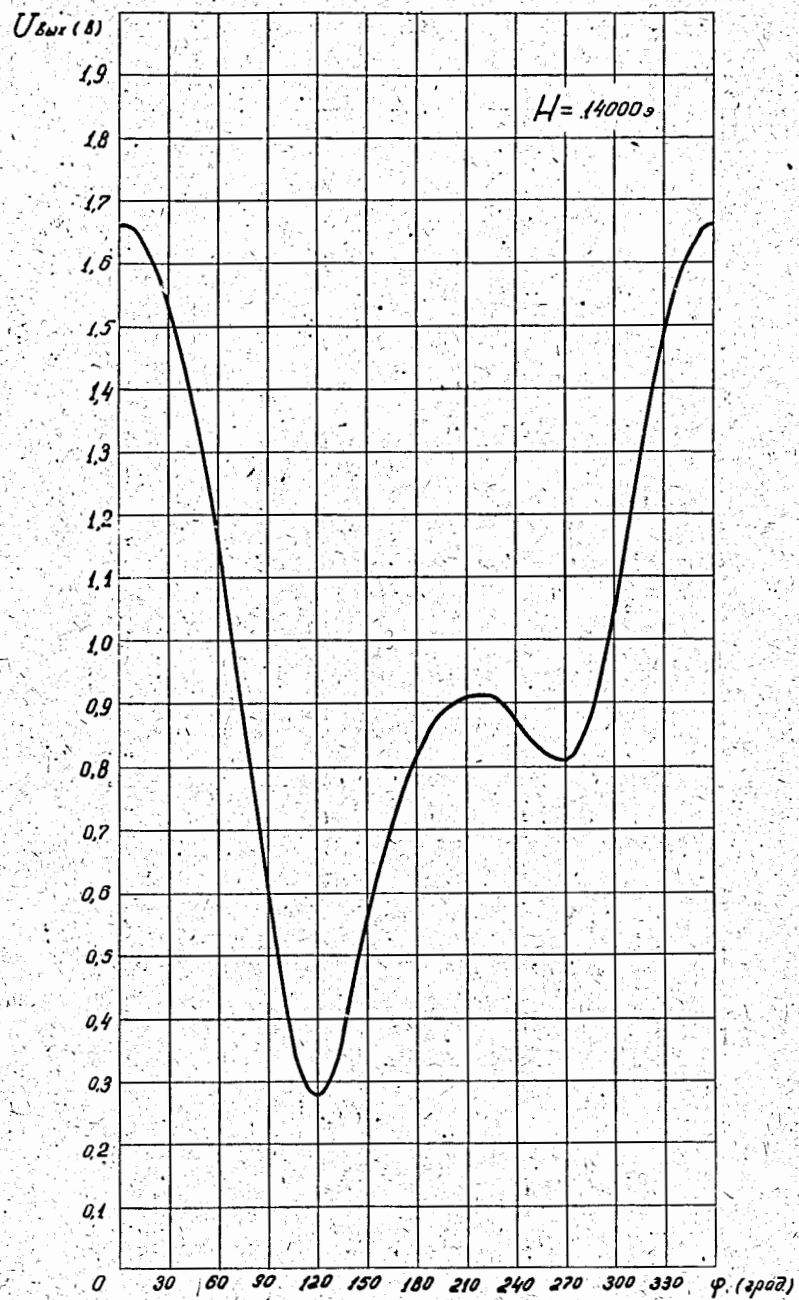


Рис. 14.

Триод С2А N3

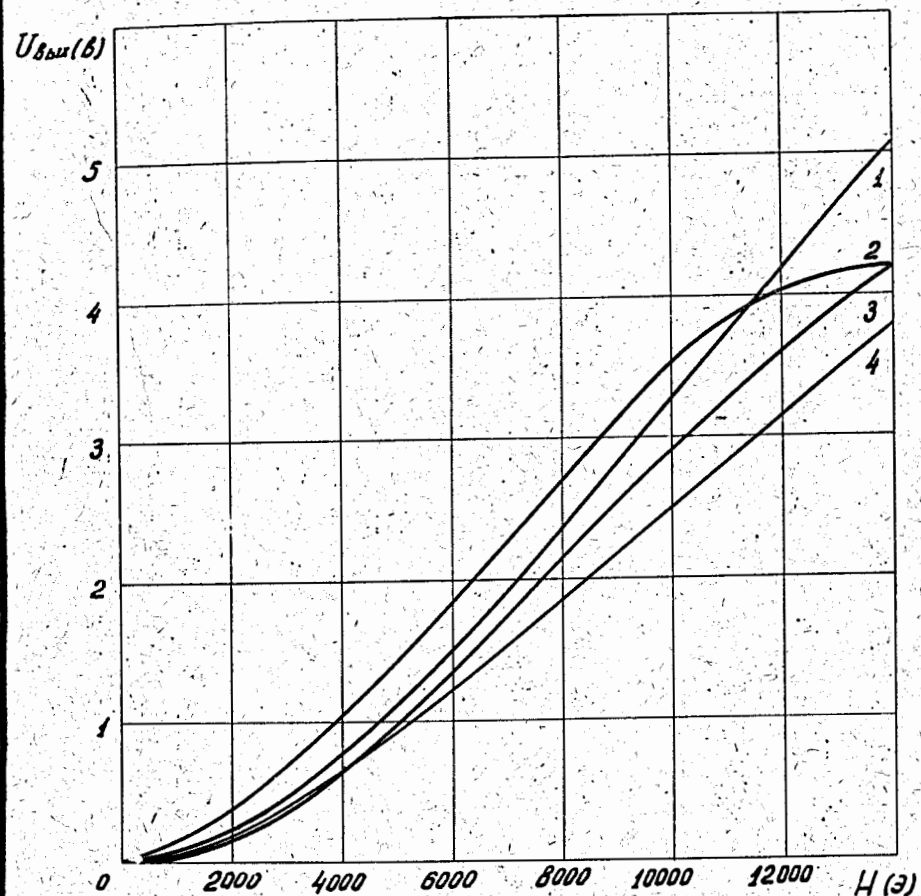


Рис. 15.

Триод П5В. 1-в стандартном корпусе;  
 2- с немагнитными выводами.  
 Триод П16А. 3-в стандартном корпусе;  
 4- на немагнитной подложке.

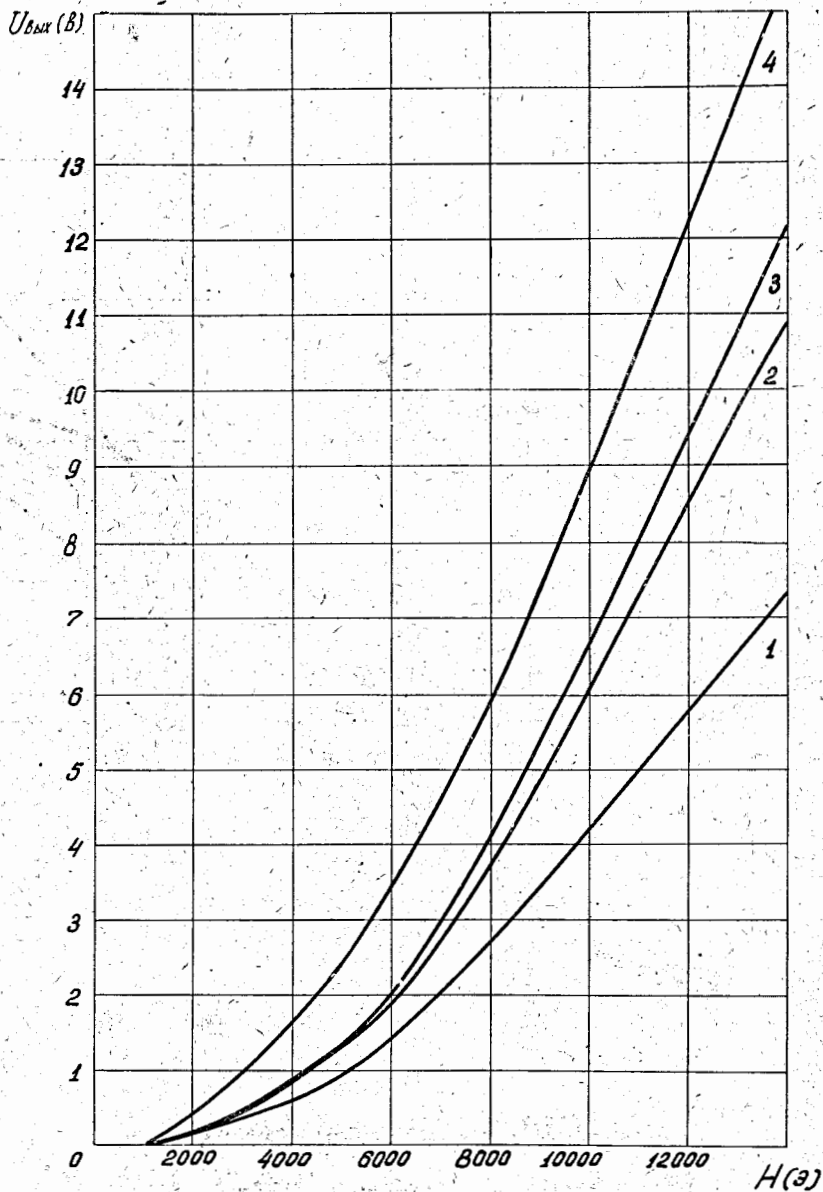


Рис. 16.

Триод П10. 1- $R_k = 10 \text{ ком}$ ; 2- $R_k = 20 \text{ ком}$ ;  
 3- $R_k = 24 \text{ ком}$ . Триод П26. 4- $R_k = 51 \text{ ком}$ .  
 $U_k = \text{const}$

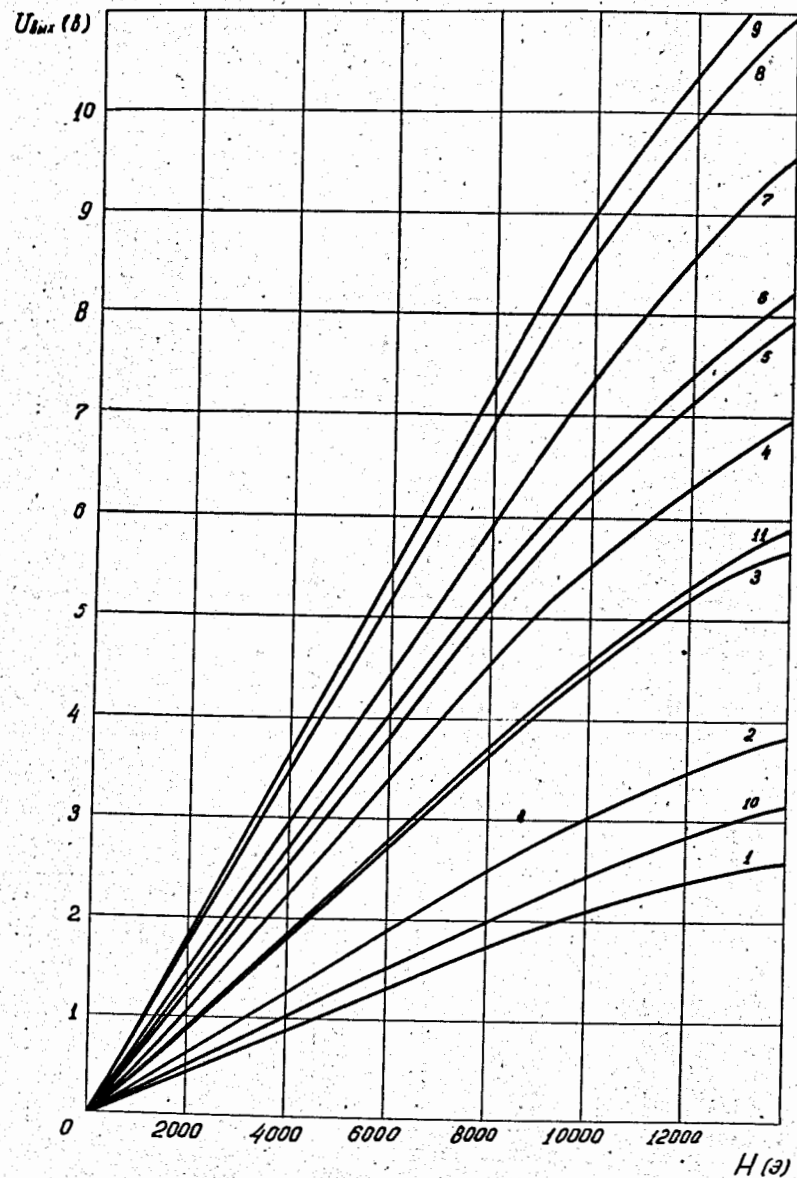


Рис. 17.

Триод С2А.  $I_3 = 2 \text{ ма}$ . 1- $R_k = 11 \text{ ком}$ ; 2- $R_k = 2 \text{ ком}$ ; 3- $R_k = 3 \text{ ком}$ ;  
 4- $R_k = 4,3 \text{ ком}$ ; 5- $R_k = 5,1 \text{ ком}$ ; 6- $R_k = 6,2 \text{ ком}$ ; 7- $R_k = 9,1 \text{ ком}$ ;  
 8- $R_k = 12 \text{ ком}$ ; 9- $R_k = 15 \text{ ком}$ .  $I_3 = 1 \text{ ма}$ . 10- $R_k = 3 \text{ ком}$ ; 11- $R_k = 9,1 \text{ ком}$ .  
 $U_k = \text{const}$

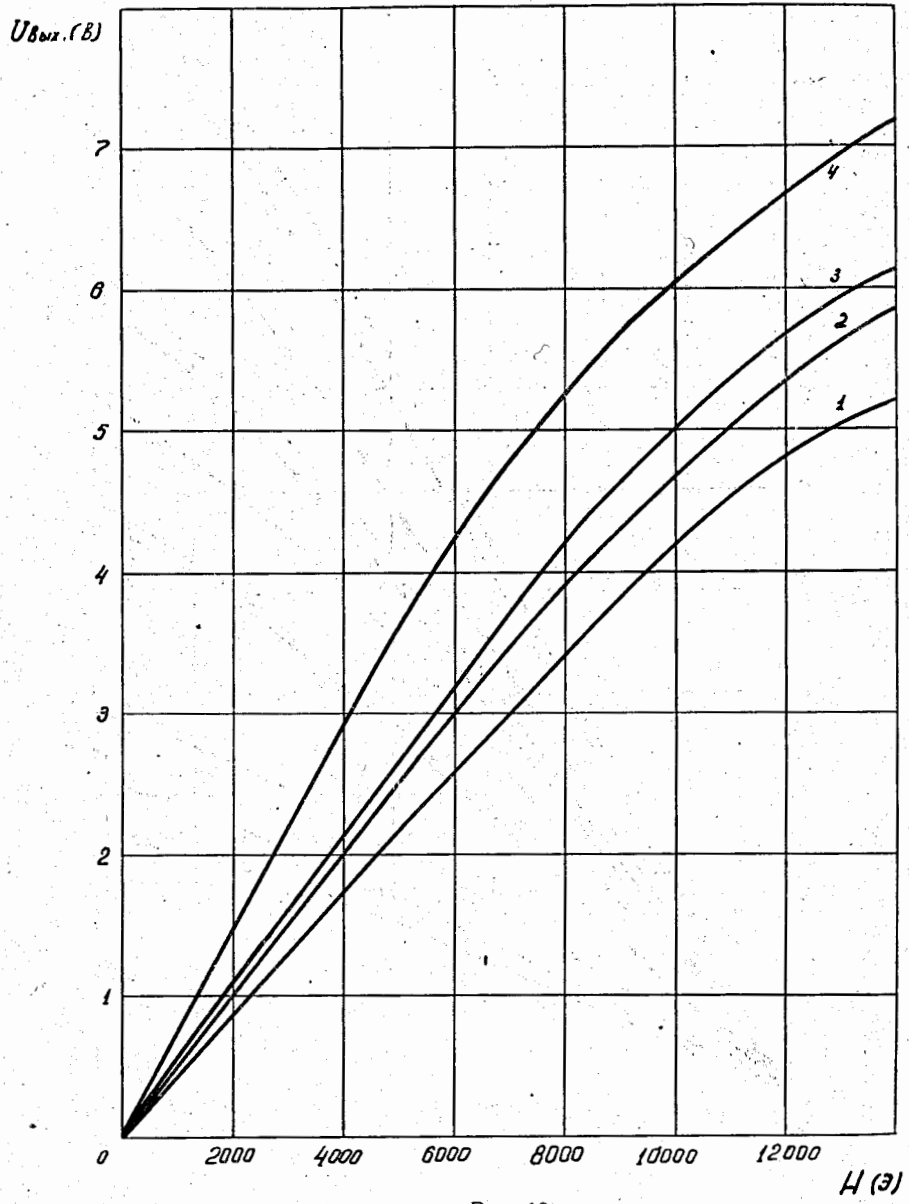


Рис. 18.

Триод 6C2A. 1- $R_n = 0 \text{ ом}$ ; 2- $R_n = 100 \text{ ом}$ ; 3- $R_n = 200 \text{ ом}$ ;  
 4- $R_n = 500 \text{ ом}$ ,  
 $U_{\kappa} = \text{const}$ .  $E_{\vartheta} = \text{const}$

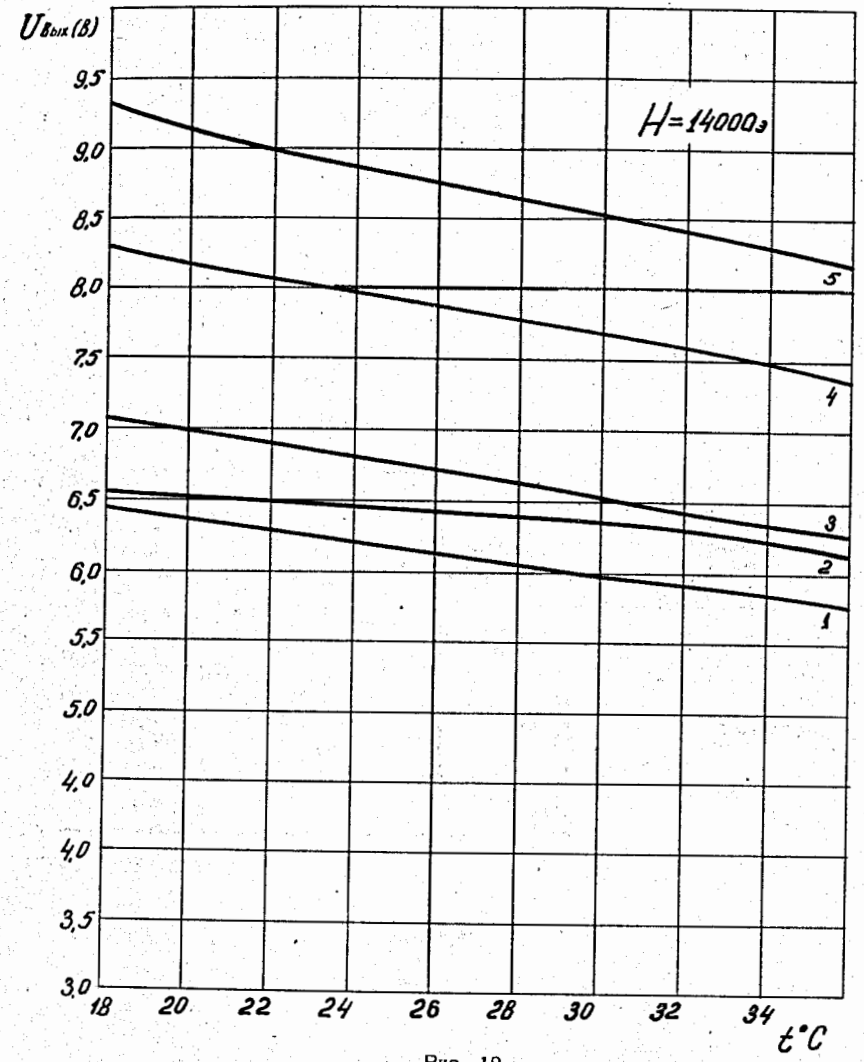


Рис. 19.

1-триод П26А; 2-триод П26; 3-триод П8;  
 4-триод П8; 5-триод П8.

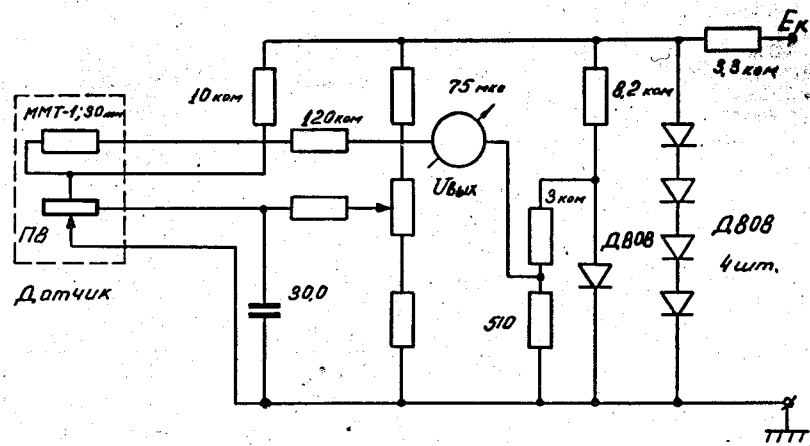


Рис. 20.

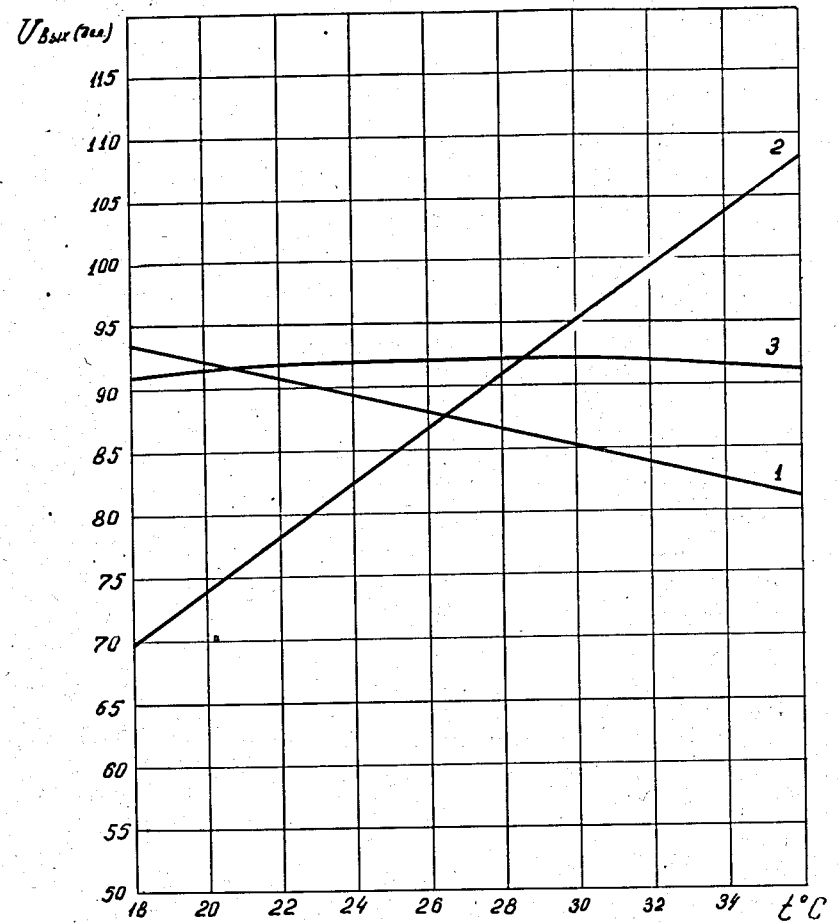


Рис. 21.

Триод ПТ. 1-  $R_{\text{доб}} = 150 \text{ кОм}$  (проволочное сопротивление типа ПТ-1). 2-  $R_{\text{доб}} = 150 \text{ кОм}$  (термосопротивление типа ММТ-1). 3-  $R_{\text{доб}} = R_1 + R_2$ .  $R_1 = 110 \text{ кОм}$  (проволочное сопротивление типа ПТ-1).  $R_2 = 30 \text{ кОм}$  (термосопротивление типа ММТ-1).

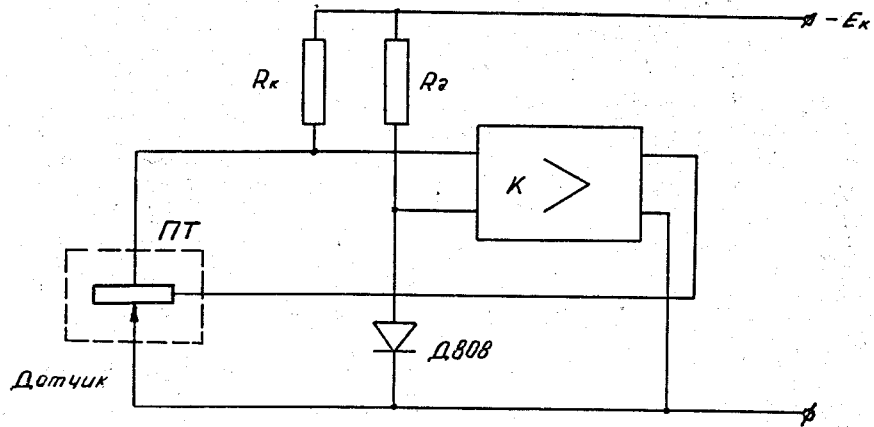


Рис. 22.

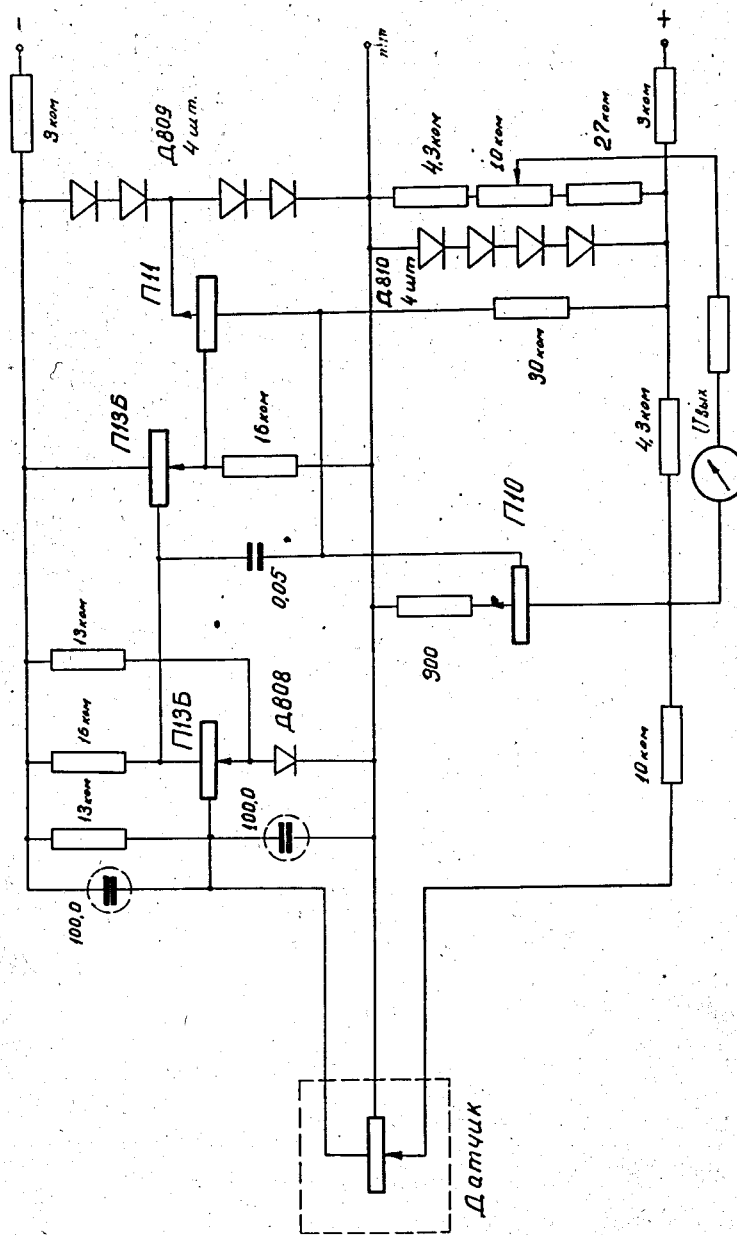


Рис. 23.





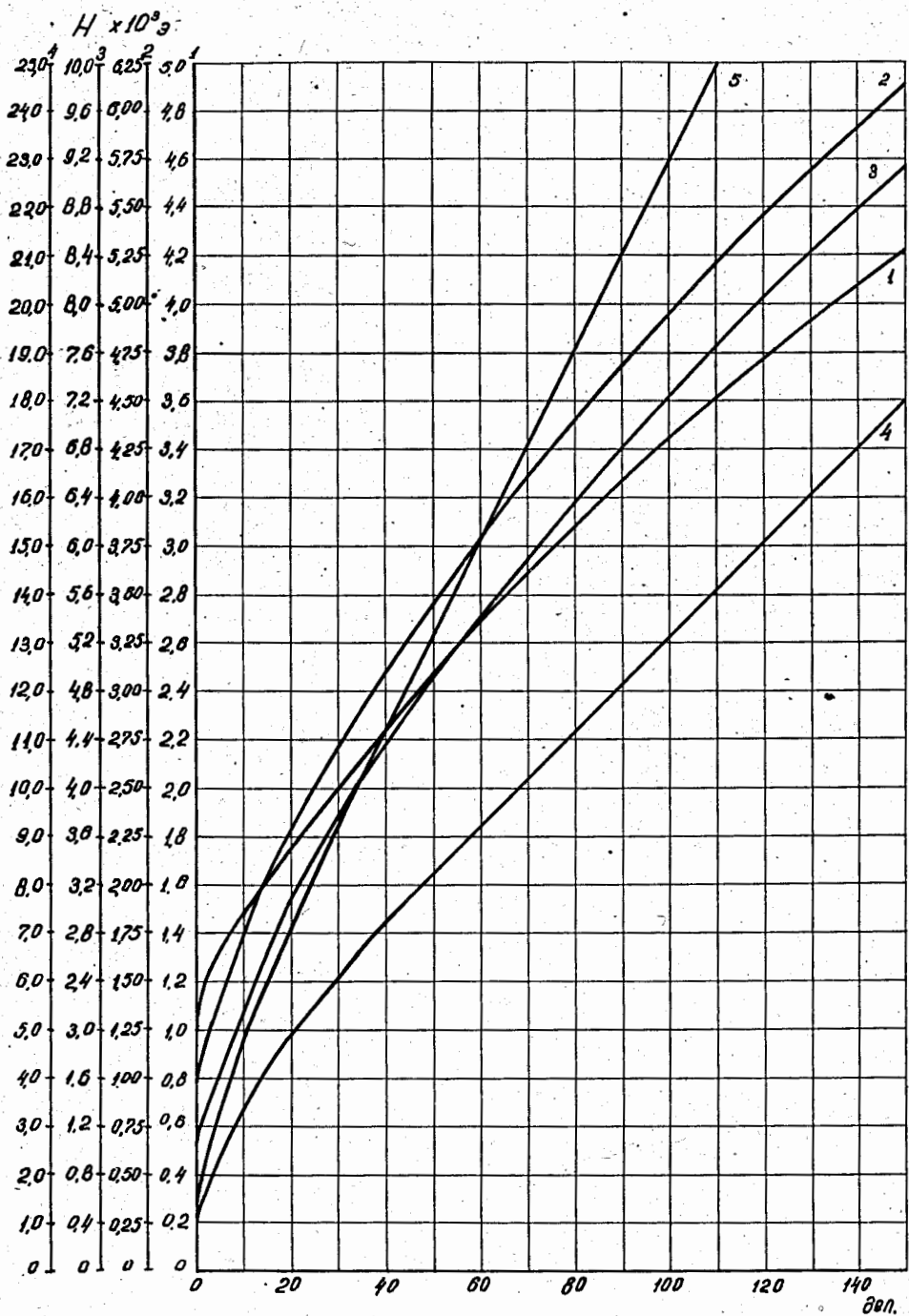


Рис. 26.