



Г.С. Казанский, В.Н. Перфеев, К.В. Чехлов

P-652

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ  
ПО МАГНИТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ  
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 БЭВ

Г.С. Казанский, В.Н. Перфеев, К.В. Чехлов

P-652

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ  
ПО МАГНИТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ  
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 БЭВ

## С о д е р ж а н и е

	стр.
Введение	3
1. Программа измерений	3
2. Исследование изменения скорости нарастания магнитного поля в динамике	4
3. Измерение максимальных полей	5
4. Линейность связи магнитных полей по зазору магнита в разных сечениях.	7
5. Методика измерения остаточного поля	8
6. Измерение пульсаций и уровня шумов в магнитном поле	9
7. Данные по стабильности связи локальных и средних полей. Уровни сигналов помех от магнитного поля и выходных каскадов в/ч.	11

За время пуско-наладочных работ возникла необходимость измерения и контроля некоторых параметров магнитного поля основного магнита ускорителя с точки зрения выяснения их влияния на стабильность синхротронного режима. Настоящая работа суммирует данные экспериментальных исследований, проведенных группой электроники радиотехнического отдела во время пусковых работ на синхрофазотроне на 10 Бэв.

### Некоторые данные по магнитным измерениям

#### 1. Программа измерений

На всем протяжении пуско-наладочных работ, а также в процессе нормальной эксплуатации группой электроники проводились измерения ряда характеристик магнитного поля.

В программу этих измерений входило следующее:

1. Измерение локальных магнитных полей при помощи датчика ядерного резонанса и пермалловых датчиков. Измерения проводились в диапазоне полей от 100 эрстед до 13000 эрстед.
2. Измерение пульсаций в магнитном поле как целиком по кольцу, так и по квадрантам.
3. Измерение остаточных полей при помощи пермалловых датчиков.
4. Контрольные измерения показателя спада магнитного поля " $\lambda$ " датчиком ядерного резонанса, а также изменения " $\lambda$ " на разных уровнях полей.
5. Измерения скорости нарастания магнитного поля. Снятие общей картины изменения  $\dot{H}$  в цикле ускорения.
6. Измерения стабильности фазы пульсаций в магнитном поле.
7. Исследование шумов магнитного поля и их влияние на девиацию частоты ускоряющего напряжения.
8. Измерение средних полей и соответствия полей в рабочей области и на полюсе основного магнита.

## 2. Исследование скорости нарастания магнитного поля $\dot{H}$

### в динамике

Перечисленные выше измерения проводились в разное время с начала запуска.

В первую очередь приведем данные измерений, касающихся динамической картины скорости нарастания магнитного поля  $\dot{H}$  и измерения максимальных полей в зазоре магнита.

В 1958 году впервые была замерена производная магнитного поля в течение цикла ускорения. В результате этих измерений было обнаружено характерное изменение  $\dot{H}$  в цикле ускорения, характер которого показан на рис. 1. В районе инжекции за счет реакторов, включенных между секторами, и последовательно включенного измерительного магнита М-6 производная имела значительную "просадку", в результате которой в начале цикла скорость нарастания магнитного поля была  $\sim 2800$  эрстед/сек. /Цифра соответствует значению поля близкого к моменту инжекции/. После того как реакторы были изъяты из схемы, производная стала иметь вид примерно такой же, как это показано на рис. 1.

Значения производной поля снимались последовательно от одной точки поля к другой, начиная с момента включения в/ч. В результате измерения оказалось, что значение  $\dot{H}$ , соответствующее моменту включения высокой частоты, равно  $\dot{H} = 3700$  эрстед/сек; затем оно быстро нарастает и через 450 м/сек от начала ускорения достигает величины 4250 эрстед/сек, после чего наступает монотонный спад и на 3,3 сек от начала ускорения  $\dot{H}$  падает до величины 3300 эрстед/сек. Характер изменения скорости нарастания магнитного поля представлен графиком на рис. 1.

При данных измерениях обеспечивалась точность отсчета  $\dot{H}$  2-3%. Методика измерений состояла в следующем.

Устанавливался интервал времени, в течение которого измерялся участок производной. Подбором стандартного напряжения осуществлялось сравнение истинной величины с эталоном и на участке измерения осуществлялось интегрирование.

Задавая короткие промежутки времени можно с большой точностью опре-

делить  $\dot{H}$ . Блок-схема изменения приведена на рис. 2.

Снятая кривая производной магнитного поля удобна для расчета параметров поля и ускоренного пучка в любой момент цикла ускорения. Используя графическое интегрирование, можно определить абсолютное значение интегральных полей в различных точках цикла ускорения. Методика измерения скорости нарастания магнитного поля с последующим графическим интегрированием успешно была применена при измерении максимальных магнитных полей.

### 3. Измерение максимальных полей

При определении значения максимального поля в магните синхрофазотрона использовались три взаимоконтролирующих измерения:

1. Измерение  $\dot{H}$  с последующим графическим интегрированием.
2. Измерение при помощи датчика ядерного резонанса.
3. Измерение с помощью интеграторного датчика.

Измерение  $\dot{H}$  проводилось тем же методом, который описан выше. Что касается датчика ядерного резонанса, то он обладал, к сожалению, всего одной фиксированной частотой, соответствующей значению магнитного поля, равному 10391 эрстед, при длительности цикла, соответствующему участку ускорения 2,59 сек. Замерить максимальное значение магнитного поля удалось при помощи интеграторного датчика. Используя датчик ядерного резонанса, который измеряет локальные поля с точностью лучше чем  $1 \cdot 10^{-4}$  и учитывая, что стабильность связи локального и интегрального поля лучше чем  $1 \cdot 10^{-3}$ , производилась калибровка интеграторного датчика по полю. Калибровка заключалась в определении коэффициента передачи интеграторного датчика магнитного поля. Интеграторный датчик, применяемый в аппаратуре связи  $f$  и  $H$ , обладает очень хорошей линейностью. На участке "пилы", соответствующей максимальным полям, обеспечивается линейность не хуже 0,02%. Таким образом, зная коэффициент передачи интеграторного датчика, можно измерять значения среднего магнитного поля в любой точке цикла ускорения. Для этого необходимо измерять амплитуду выходного напряжения интегратора с достаточной точностью. Коэффициент передачи "К" или крутизна интегратора по полю:

$$K = \frac{H - H_0}{U_{\text{инт}}},$$

$$\text{где } H_0 = H_i - \frac{\Delta H}{\Delta U} \cdot U_i.$$

/1/

Величина магнитного поля определялась при помощи датчика ядерного резонанса, размещенного в центре рабочей области. Напряжение с интегратора подавалось на прецизионный компаратор, обеспечивающий точность измерения амплитуды лучше чем  $1 \cdot 10^{-4}$ . Опорное напряжение компаратора подбиралось таким образом, чтобы импульс компаратора, вырабатываемый в момент сравнения, совместился с импульсом ядерного резонанса, соответствующим определенному значению магнитного поля. Делая отсчет напряжения в момент совпадения импульсов и производя несложные вычисления, можно с хорошей точностью определить  $H$ . Статистический "К" во всем диапазоне магнитных полей, замеренный интегральным способом, получился равным  $K = 68,72$  эрстед/вольт. Таким способом удалось измерить поля до конца цикла. Приводим полученные данные:

$I$ (ка)	$U_{\text{инт}}$ (б)	$H$ (кэ)	
10	170,28 в	11,475	$I$ - ток в обмотке магнита (ка) $U_{\text{инт}}$ - измеренное компаратором напряжение интегратора (б) $H$ - значение магнитного поля /среднее/ (кэ)
11	180,24 в	12,141	
11,5	184,89 в	12,451	
12	189,994 в	12,791	

Для проверки значений магнитных полей были проведены контрольные измерения  $H$  при длительности времени ускорения 2,59 секунды, т.е. в точке, где магнитное поле измеряется по датчику ядерного резонанса. В результате графического интегрирования по данным 3-х кратных измерений  $H$  получены следующие данные:

$$H_{\text{ср.}} - 3686,97 \text{ эрстед/сек,}$$

$$H - 10402 \text{ эрстед, } H_{\text{ядерн.}} = 10391 \text{ эрстед.}$$

Нетрудно видеть, что измерения проведены достаточно точно. Приведенные выше результаты дали возможность провести калибровку системы питания обмоток основного магнита по полю.

#### 4. Линейность связи магнитных полей по зазору магнита

##### в разных сечениях

Во время проведения работ, связанных с исследованием начала синхротронного режима, были проведены эксперименты по определению линейности связи между средним значением магнитного поля в средней плоскости и средним значением магнитного поля у полюсов магнита, т.е. в месте расположения интеграторного датчика поля системы связи  $f''$  и  $H''$ . Проверялось предположение о наличии нестационарных процессов, связанных с вихревыми токами, влияние которых при их значительной величине может сказываться неодинаково по высоте зазора. Наличие такого эффекта могло бы привести к несоответствию полей, регистрируемых интеграторным датчиком, и значением поля в средней плоскости магнита.

В общем случае: 
$$H(t, z) = H_0(t) \cdot f(z).$$

Но если считать, что  $f(z)$  /распределение поля по высоте зазора/ нелинейна и меняется во времени, то без наличия в начале участка функционального преобразователя гибких нелинейных элементов соответствия полей невозможно добиться. Результат несоответствия полей мог бы привести к существенным потерям частиц в начале синхротронного режима, даже если эта нелинейность не превышает 1%. Одновременно с исследованием полей основного магнита проверялась линейность связи между основным магнитом /исследовалось поле у полюсов/ и измерительным магнитом, расположенным в корпусе № 2, включенным последовательно с основным магнитом /исследовалось поле в средней плоскости/. Следует отметить, что измерительный магнит это по сути дела выносная секция основного магнита. Измерения проводились при помощи устройства, блок - схема которого представлена на рис.3. Результаты измерений представлены осциллограммами на рис. 4 и 5. Опыт показал, что на 10 мсек от начала ускорения нелинейность связи в обоих случаях не хуже 0,1% и это не может вызвать отклонения выходных параметров высокочастотного питания от нормы. На 5 мсек от начала ускорения несоответствие полей практически не обнаружено. Важным контрольным параметром является стабильность остаточного поля, отклонение от нормы которого может привести к нестабильности захвата в синхротронный режим.



### 5. Методика измерения остаточного поля

Остаточное поле  $H_0$  измерялось помощью пермаллового датчика, расположенного в зазоре электромагнита на 2 секторе. Соленоид датчика питался переменным током с частотой 50 герц. Способ измерения заключался в следующем:

1. Определялось поле в соленоиде пермаллового датчика /  $w = 8000$  витков/ по формуле:  $H = k'n 2\pi J (\cos\beta_1 - \cos\beta_2)$ , где  $k'$  - коэффициент, связанный с размерностью единиц измерения. Если  $H$  в эрстедах,  $J$  в амперах, то  $k' = 0,1$ ,  $n$  - число витков на см длины соленоида,  $J$  - ток в амперах.  $\beta_1$  и  $\beta_2$  - углы от центра соленоида до краев.

Из  $\Delta$ -ка  $OAB$  с учетом действительных размеров / см. рис. 6а/ находим:

$$OB = \sqrt{OA^2 - AB^2} = 2,58 \text{ см}$$

$$\cos\beta_1 = \frac{OA}{OB} = 0,93$$

$$\cos\beta_2 = -\cos\beta_1 = 0,93$$

$$n = \frac{8000}{4,8} = 1665 \text{ витк/см.}$$

$$\text{Отсюда } H = 0,1 \cdot 1665 \cdot 6,28 / 0,93 \pm 0,93 / \cdot 1 \text{ /амп./} = 1,95 \text{ J (ма).}$$

$$H(\text{эрст}) = 1,95 \cdot J(\text{ма}).$$

Используя временной способ для определения остаточного поля и имея ввиду соотношение: / см. рис. 6б/

$$J(\text{а}) = \frac{\sqrt{2} U_{\text{эфф}}(\text{в}) 2\pi}{4R(\text{ом})} \cdot \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1},$$

будем иметь

$$H_{\text{ост}}(\text{эрст}) = 1950 J(\text{а}) = \frac{1950 \sqrt{2} U_{\text{эфф}}(\text{в}) 2\pi}{4R(\text{ом})} \cdot \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1},$$

$$H_{\text{ост}} = \frac{4320}{R(\text{ом})} \cdot \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} (\text{эрст}) \quad /2/$$

формула /2/ верна для малых углов.

В общем случае:  $i = J_m \sin \omega t$

$$I_{(ост)} = I_{max} \sin \omega t \cdot \Delta t = I_m \sin \frac{t_2 - t_1}{4(t_2 + t_1)} \cdot T = I_m \cdot \sin 2\pi \frac{t_2 - t_1}{4(t_2 + t_1)}$$

$$\text{т.к.} \quad I_m = \frac{U_m}{R_k + R_{сод}} = \frac{U_m}{R} = \frac{1,44 U_{эф}}{R}$$

$$H_{ост}(\text{эрст}) = 1950 \cdot 1,41 \cdot \frac{U_{эф}(\text{В})}{R_{(ом)}} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \left( \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} \right)$$

$$H_{ост}(\text{эрст}) = 2750 \cdot \frac{U_{эф}(\text{В})}{R_{(ом)}} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \left( \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} \right)$$

Окончательная формула выглядит следующим образом:

$$H_{ост}(\text{эрст}) = 2750 \cdot \frac{U_{эф}(\text{В})}{R_{(ом)}} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \left( \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} \right)$$

Схема измерений, временная диаграмма и геометрия соленоида представлены на рис. 6.

В результате измерений получено значение остаточного поля  $H_{ост} = 5,2$  эрстеда с нестабильностью  $\pm 5\%$ .

#### 8. Измерение пульсаций в магнитном поле и уровня шумов

Неоднократно проводились измерения пульсаций магнитного поля в диапазоне ускорения. Результаты измерений дали следующие цифры.

В начальный момент 600-герцевая составляющая/см. фото № 1/имеет величину 6%  $\rho_{тп}$  по  $\dot{H}/H = 150$  эрст./В. В конце цикла ускорения при  $H = 10000$  эрстед /см. фото № 2/ она достигает величины  $\sim 14 - 16\%$  по  $\dot{H}$ , что соответствует для 600 гц. по полю  $H = 0,1$  эрстеда.

Промежуточная точка на поле  $H = 4000$  эрстед представлена на фото № 3. Следует отметить, что при включении системы подавления пульсаций уровень их в конце цикла был снижен в 1,5-2 раза. Были проведены сравнительные измерения пульсаций  $\dot{H}$  по секторам основного магнита. Осциллограммы  $\dot{H}$  в секторах № 1 и № 2 представлены на фото № 4 и № 5. Разность производных

между секторами 2 и 4 и 1 и 3 иллюстрирована на фото № 6 и № 7.

Во время пуско-наладочных работ были произведены измерения гармонических составляющих и шумов в магнитном поле с целью выяснения их влияния на частоту ускоряющего напряжения. Измерения проводились в статике при помощи анализатора гармоник в трех точках поля, соответствующих значениям тока в обмотке магнита - 1000 а, 2000 а, 4000 а и, соответственно, на частотах настройки 960 кГц., 1250 кГц. и 1400 кГц.

При анализе результатов измерений нетрудно видеть, что наиболее выделяется гармоника  $F = 600$  гц.

$\frac{\Delta f}{f} = 3,3 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_1 \rightarrow$	$J$	= 1000 а.
$6,0 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_2 \rightarrow$	$J$	= 2000 а.
$5,0 \cdot 10^{-7}$	на поле	$H_3 \rightarrow$	$J$	= 4000 а.

Гармоника 1200 гц.

$\frac{\Delta f}{f} = 8,0 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_1 \rightarrow$	$J$	= 1000 а.
$1,4 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_2 \rightarrow$	$J$	= 2000 а.
$1,2 \cdot 10^{-7}$	на поле	$H_3 \rightarrow$	$J$	= 4000 а.

Гармоника 1800 гц.

$\frac{\Delta f}{f} = 0,55 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_1 \rightarrow$	$J$	= 1000 а.
$0,20 \cdot 10^{-6}$	на поле	$H_2 \rightarrow$	$J$	= 2000 а.
$5,0 \cdot 10^{-8}$	на поле	$H_3 \rightarrow$	$J$	= 4000 а.

Влияние шумов магнитного поля, пересчитанное в девиацию частоты, которая создает колебания пучка по азимуту  $\Theta$ , представлено графиком на рис.7.

Влияние шумов поля в пересчете на  $\Theta$  дает максимальное значение  $6 \cdot 10^{-2}$  радиана. /см.рис 7/.

Несколько позднее были проведены динамические измерения гармонических составляющих пульсаций магнитного поля на частотах, представляющих интерес с точки зрения резонанса радиально-фазовых колебаний, т.е. 800 гц; 1200 гц; 1800 гц.. Определено их влияние на раскачку частоты в момент захвата в синхронный режим. При измерениях применен метод избирательного контура, обладавшего эквивалентной добротностью на измеряемых частотах /800 гц, 1200 гц, 1800 гц/  $Q = 35$ .

Расчет амплитуды гармоник поля с учетом коэффициента передачи анализирующего устройства велся по формуле:

$$A_n = \frac{c_n \cdot p_{tp}}{0,01 \cdot \omega_n}$$

С использованием полученных данных были определены амплитуды гармоники магнитного поля.

$$/600 \text{ гц} / A_{/600/p_{tp}} = \frac{0,6}{-0,01 \cdot 2 \pi \cdot 600} \quad 2 \cdot 10^{-2} \text{ эрст.}$$

$$/1200 \text{ гц} / A_{/1200/p_{tp}} = \frac{0,16}{0,01 \cdot 2 \pi \cdot 1200} \quad 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ эрст.}$$

$$/1800 \text{ гц} / A_{/1800/p_{tp}} = \frac{0,025}{0,01 \cdot 2 \pi \cdot 1800} \quad 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ эрст.}$$

Измерения проводились в момент включения высокой частоты. Нетрудно рассчитать девиацию частоты в результате воздействия гармоник магнитного поля.

Крутизна частоты по полю /в момент включения высокой частоты/

$$\frac{df}{dH} = \frac{df}{dt} \cdot \frac{dt}{dH} = 1,25 \text{ кгц/эрстед}$$

$$\Delta f_{/600/p_{tp}} = A_{/600/p_{tp}} \frac{df}{dH} = 25 \text{ гц}$$

$$\Delta f_{/1200/p_{tp}} = A_{/1200/p_{tp}} \frac{df}{dH} = 3 \text{ гц}$$

$$\Delta f_{/1800/p_{tp}} = A_{/1800/p_{tp}} \frac{df}{dH} = 0,3 \text{ гц.}$$

Приведенные выше данные измерений дают основание утверждать, что шумовые и гармонические составляющие пульсаций магнитного поля не оказывают существенного влияния на раскочку частоты ускоряющего напряжения.

#### 7. Данные по стабильности связи локальных и средних полей.

Уровни сигналов помех от магнитного поля и выходных каскадов в/ч

Во время пуско-наладочных работ, а также в процессе эксплуатации неоднократно проверялась стабильность связи интегрального и локального магнитного поля.

Датчиками были ядерный резонанс и катушка интеграторного датчика, ох-

ватывающего рабочую область магнитного поля. Приведем некоторые данные:

1/ На поле  $H = 778$  эрстед  $\dot{H} = 4121,8$  эрстед/сек/ за 400 циклов нестабильность импульса составила  $\pm 70$  мксек, что составляет по полю 0,25 эрстед, т.е. 0,1%.

2/ На поле  $H = 466,6$  эрстед  $\dot{H} = 4041,3$  эрстед/сек/ за 50 циклов нестабильность составляет  $\pm 100$  мксек по полю 0,4 эрстеда, т.е. 0,1%.

3/ На уровне поля  $H = 159$  эрстед  $\dot{H} = 3775,5$  эрстед/сек/ за 200 циклов нестабильность составляет  $\pm 60$  мксек, т.е. 0,1%.

Таким образом стабильность связи между локальным полем основного магнита и средним полем в рабочей области не хуже, чем 0,1%. Каждый раз при проверке эти данные подтверждаются. Измерялись также наводки на катушку интеграторного датчика, связанные с магнитным полем и частотой уско-ряющего напряжения.

В паузе фон 14 мв.эфф.

Импульсная наводка /100 гц/ 35 мв. эфф.

Наводка от высокой частоты 290 мв.

Наводка от поля при возрастании  $H - 400$  мв. при уменьшении 250 мв.

Пульсации в нарастающем поле 60-70 мв. Импульсные наводки 350 мв. Измерения проводились во **II** корпусе, а при закороченных коммуникациях - в I корпусе. Высокочастотные наводки от радиоаппаратного зала 1,7 мв от пика до пика.

Импульсная наводка 100 гц. 23 мв.

От магнитного поля 17 мв.

При проверке стабильности фазы пульсаций магнитного поля были обнаружены скачки фаз на  $180^\circ$  и более. После переделки в схеме игнитронных выпрямителей фаза пульсаций была весьма стабильна.

Данные измерений магнитного поля, выполненных группой электроники РТО, дали возможность обеспечить надежный контроль параметров магнитного поля с точки зрения их влияния на стабильность синхротронного режима.

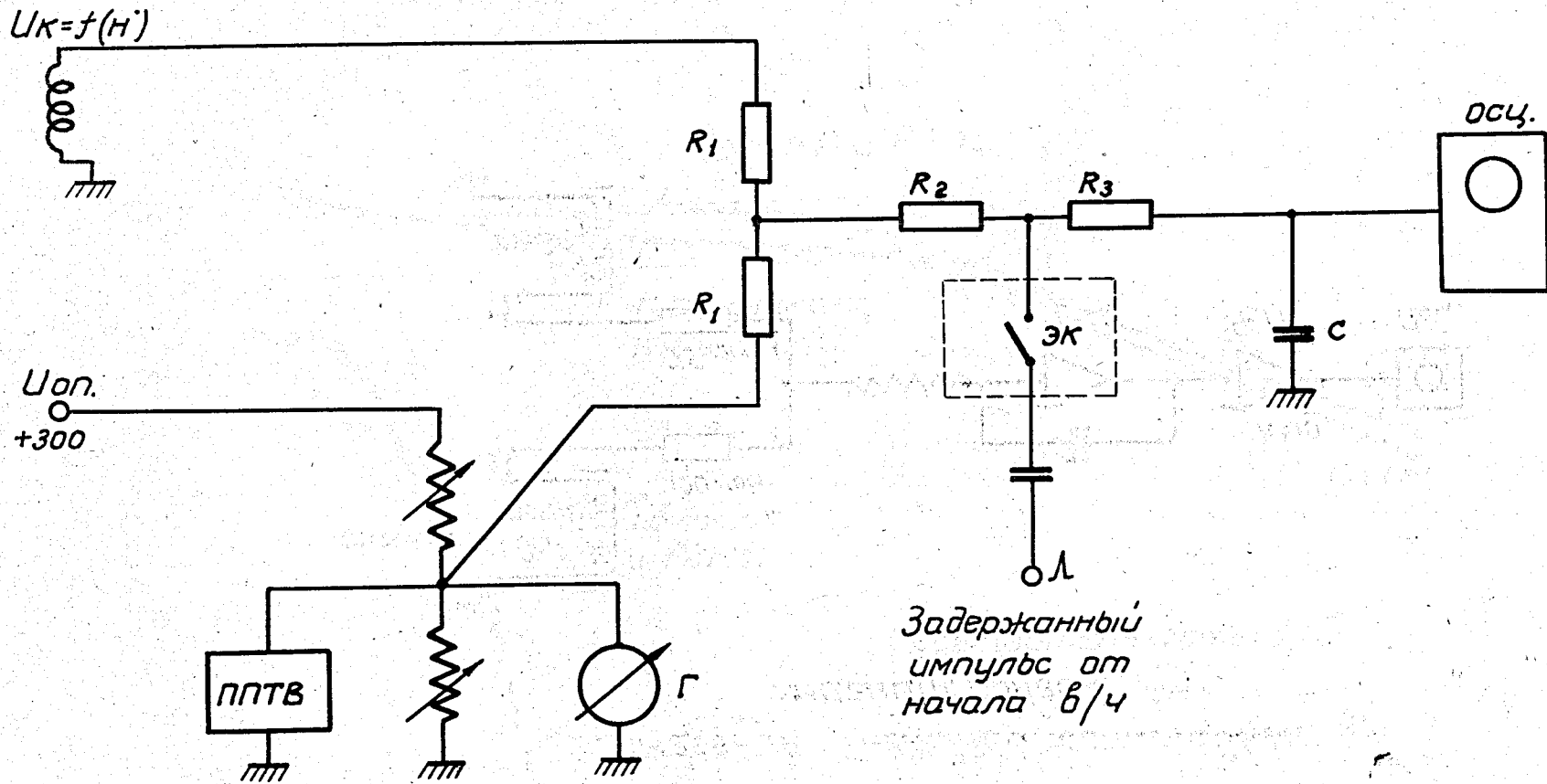
В этих работах принимали непосредственное участие тт. Михайлов А.И.; Царенков А.Л., Пучков Г.А., Боков Г.А.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 января 1961 г.



# Блок-схема

измерения скорости нарастания магнитного поля

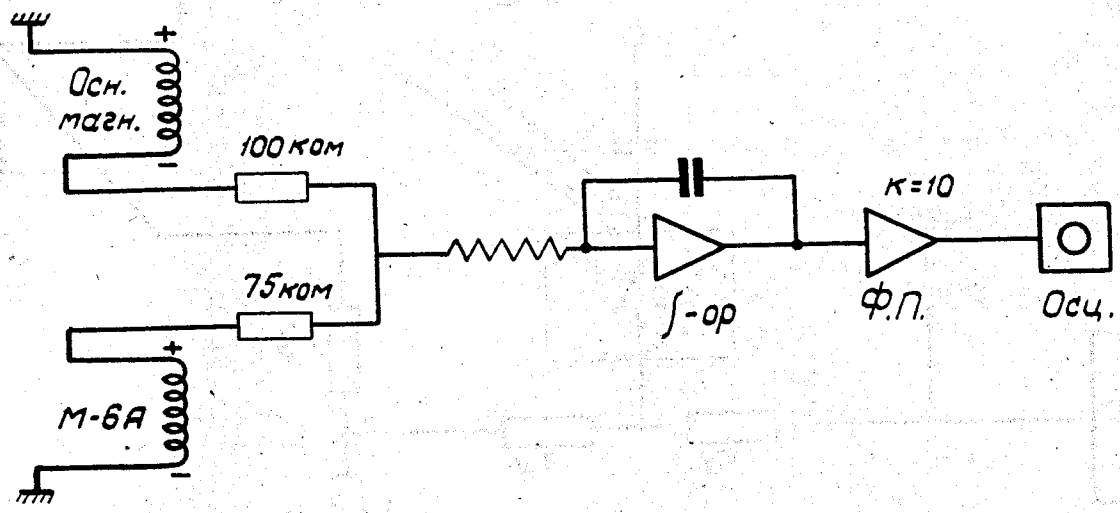


Р и с. 2.

Блок-схема измерений.

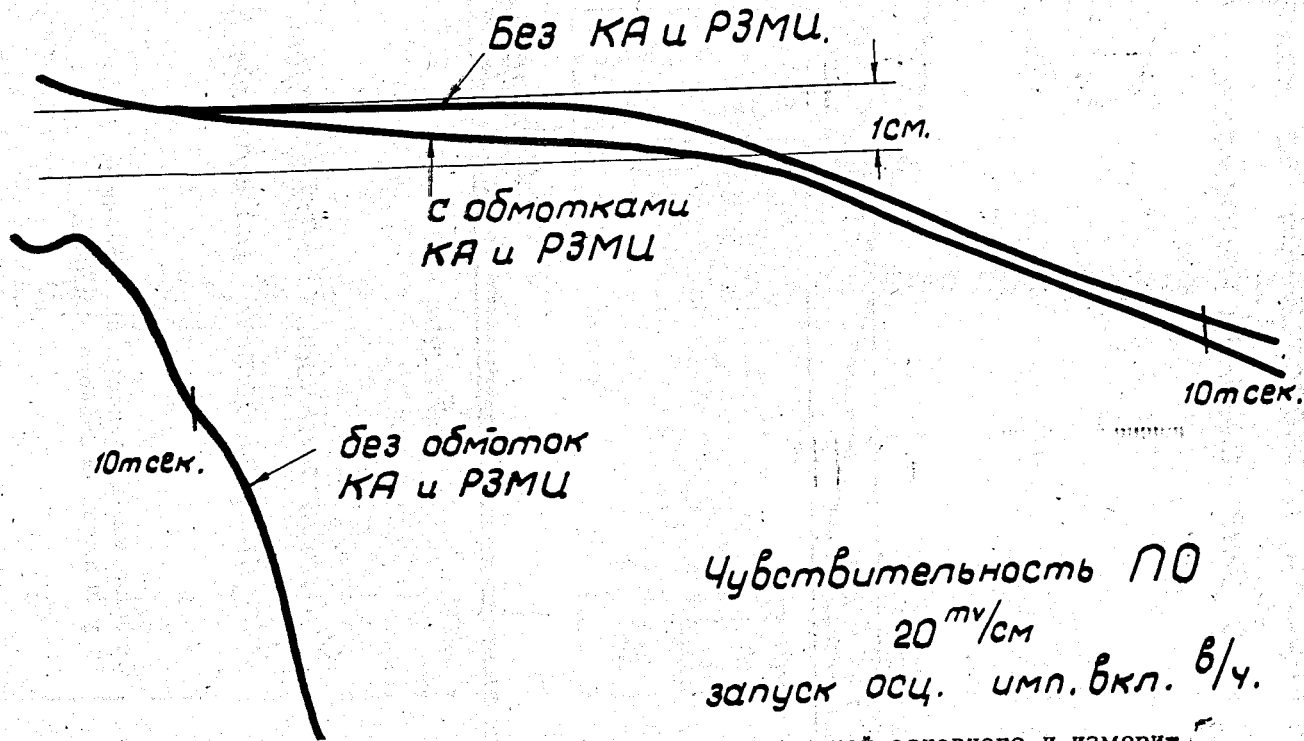


Блок-схема  
измерения нелинейности связи  
магнит. полей.



Р и с. 3. Блок-схема измерений.

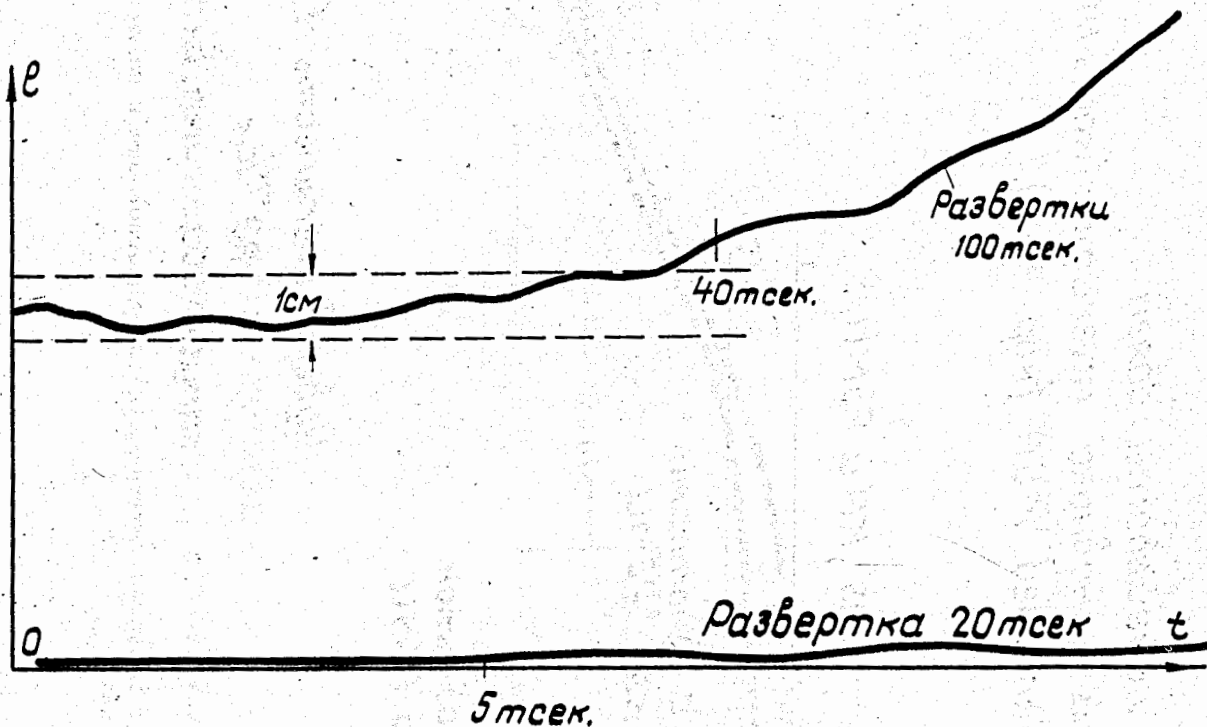
Проверка линейности связи  
интегральных полей основного магнита (кор. №1)  
и измерительного МБА (кор. №2).



Чувствительность ПО  
 $20^{mv/cm}$   
запуск осц. имп. вкл.  $6/4$ .

Рис. 4. Осциллограмма разности интегральных полей основного и измерительного магнита.

Линейность связи поля катушки внутри камеры, расположенной на полюсе, и поля катушки, расположенной на камере в р-не средней плоскости.

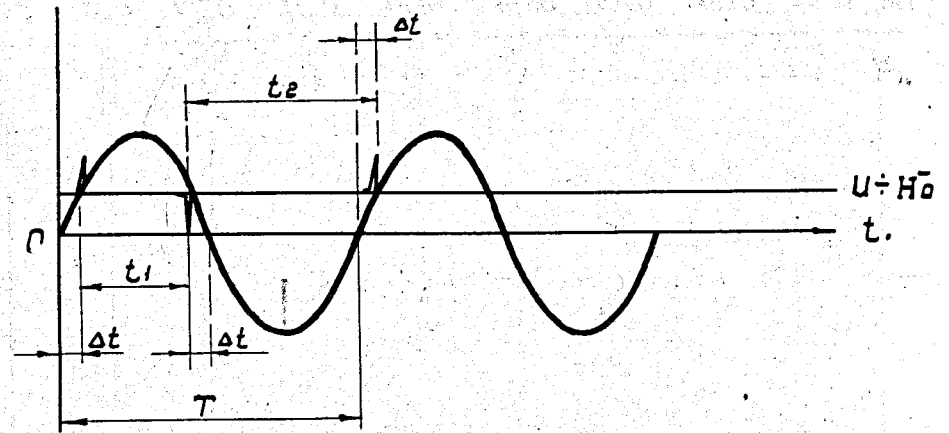
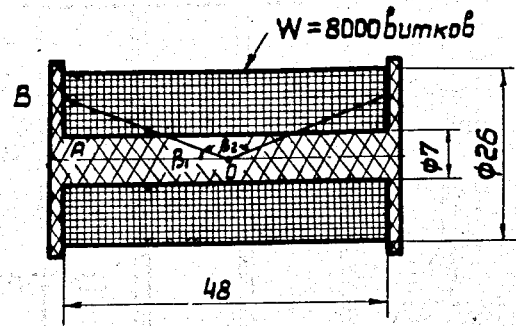


Чувствительность  $\approx 0,12$  эрст/см.

Запуск развертки импульсом вкл. в/з

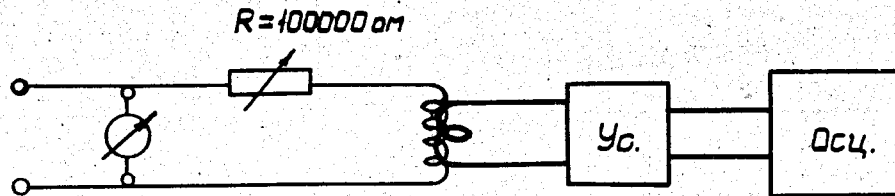
Рис. 5. Осциллограмма разности интегральных полей в средней плоскости и у полюсов основного магнита.

# Измерение стабильности $H_0$



а) Конструктивные размеры соленоида

б) Временная диаграмма измерений



в) Блок-схема измерений

Рис. 6. Иллюстрация к вопросу измерения остаточных полей основного магнита.

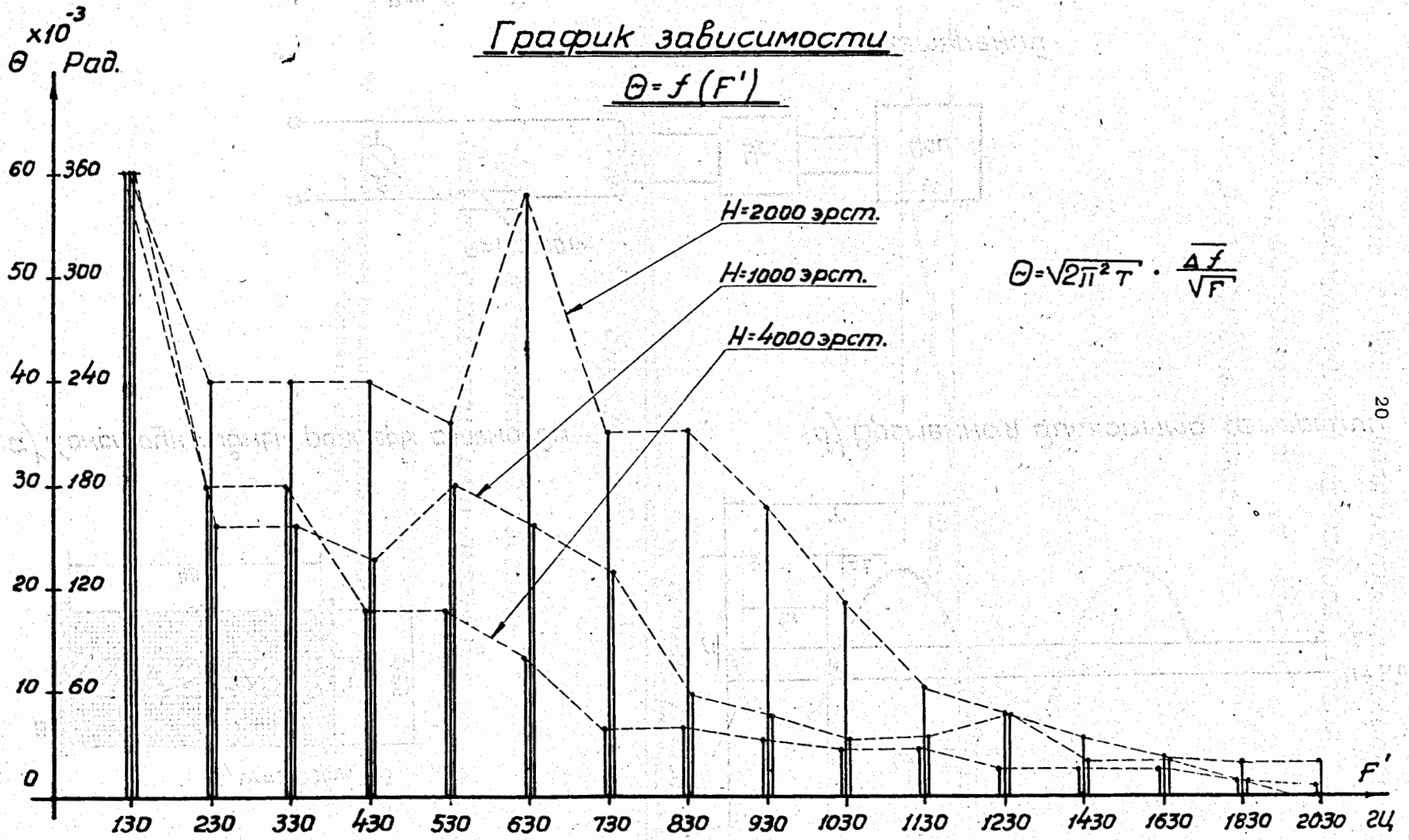


Рис. 7. К вопросу о влиянии шумовой девиации частоты на режим ускорения.

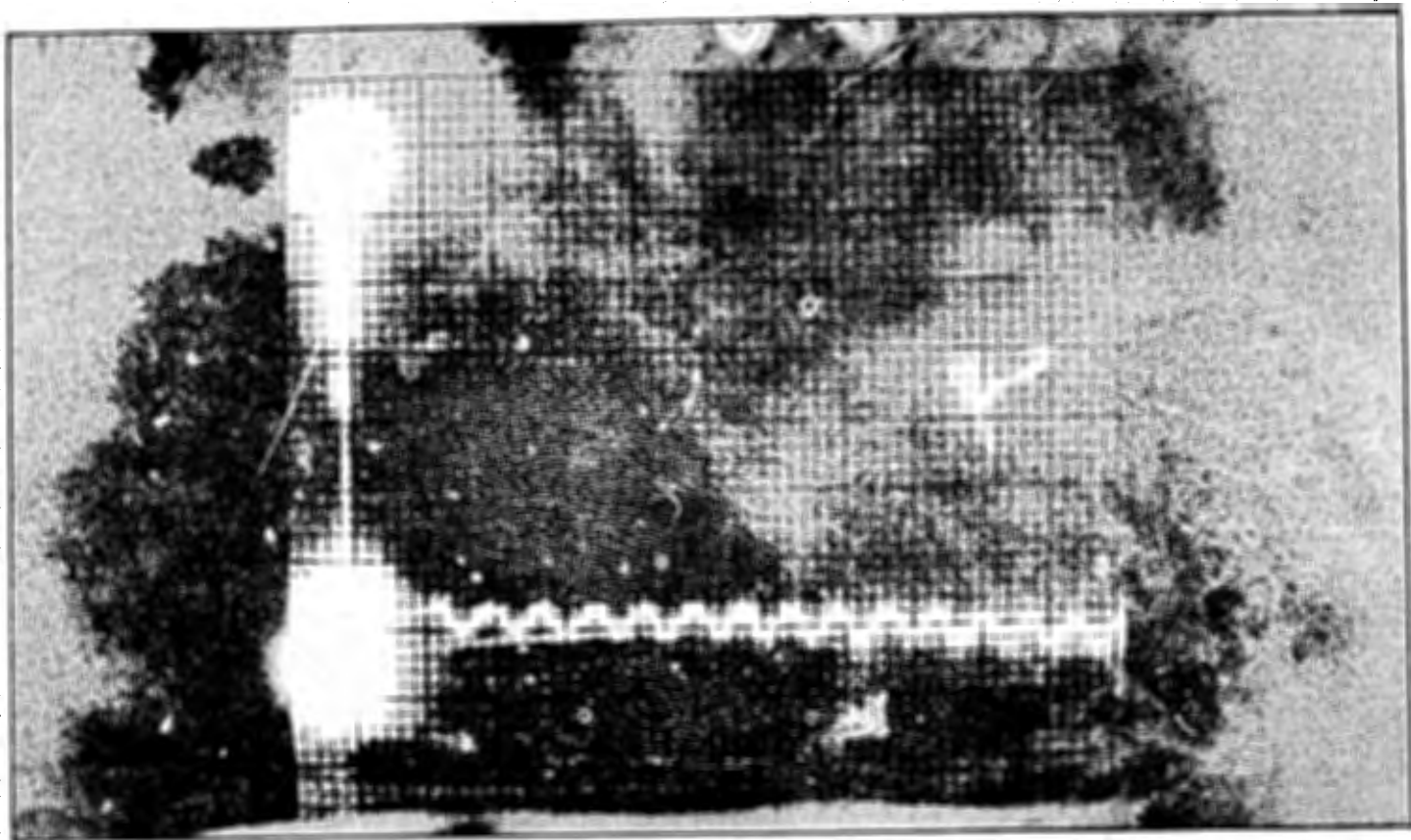


Фото № 1. Производная магнитного поля основного магнита на уровне  
150 эрстед.  $\dot{H}$  среднее = 4000 эрст/сек.

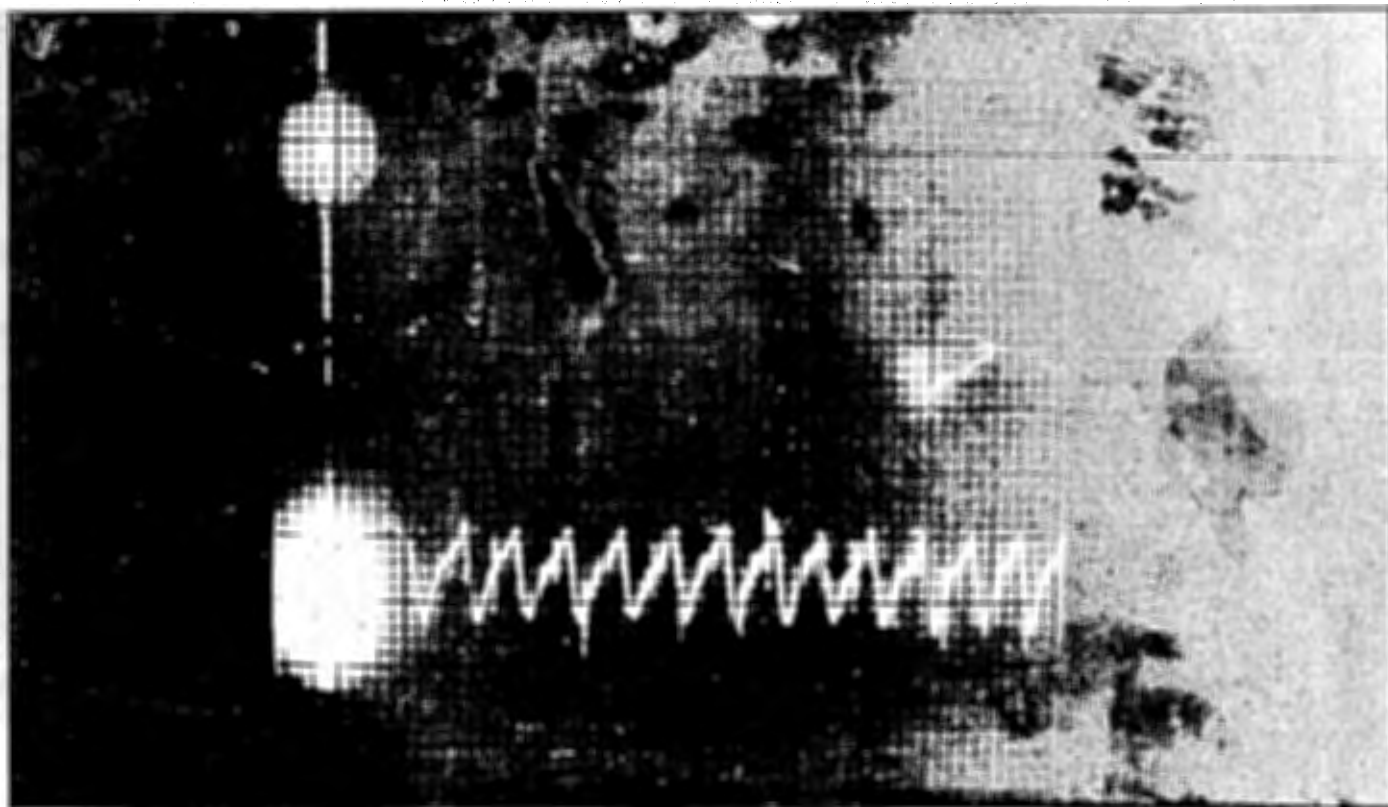


Фото № 2. Производная магнитного поля основного магнита на уровне 10000 эрстед.  $\dot{H}$  среднее = 4000 эрст/сек.

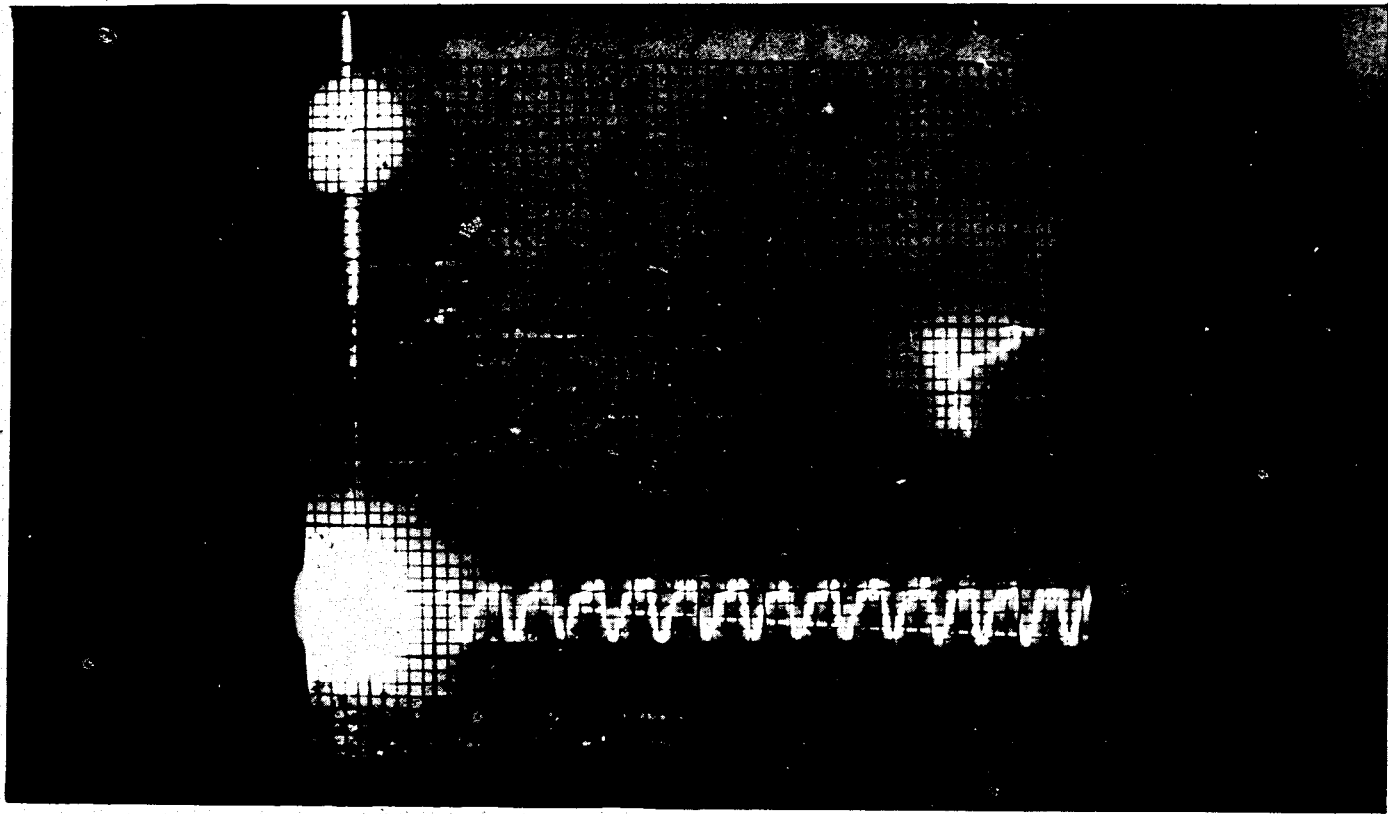


Фото № 3. Производная магнитного поля основного магнита на уровне 4000 эрстед.  $\dot{H}$  среднее  $\approx$  4000 эрст/сек.



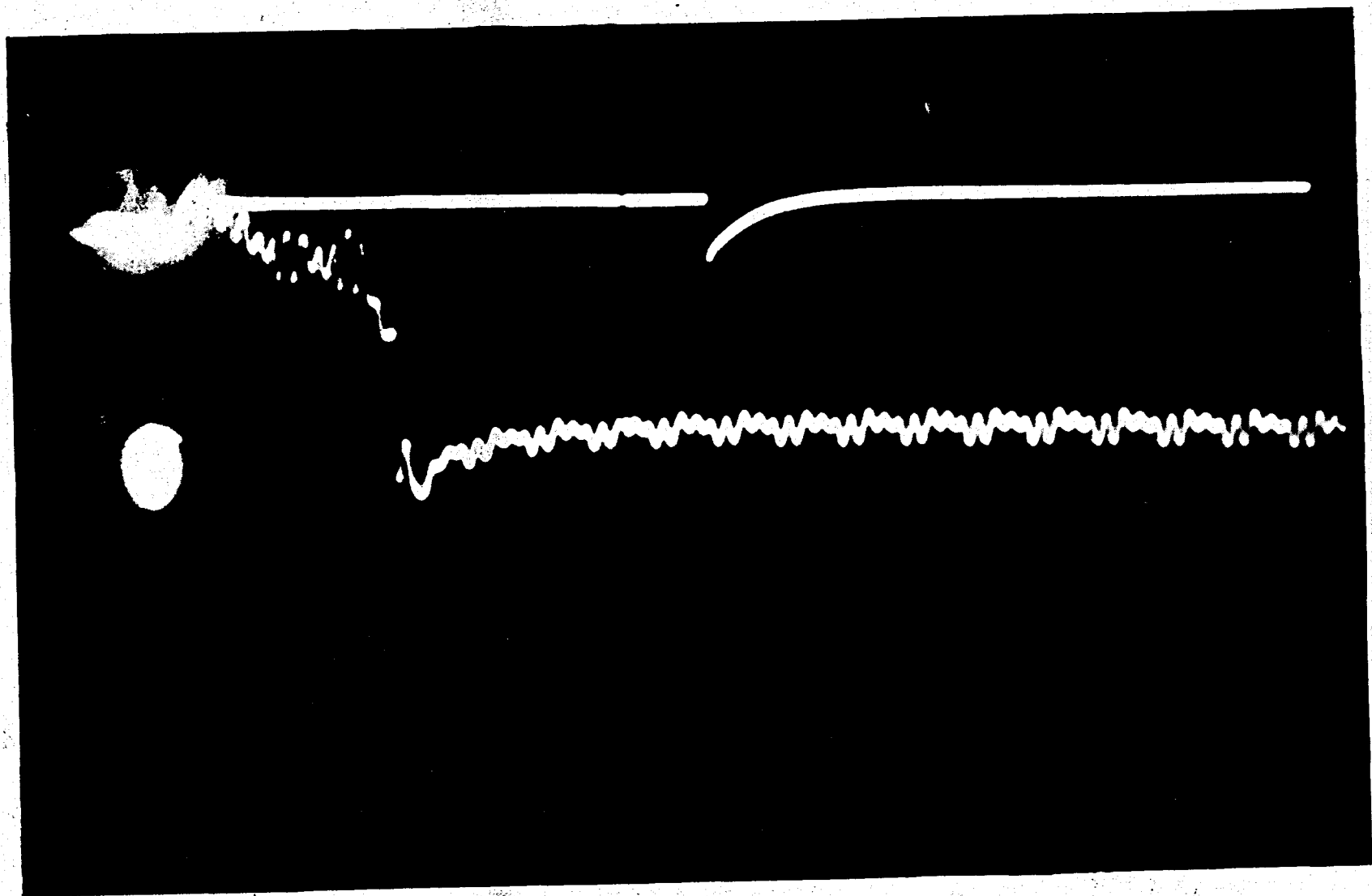


Фото № 4. Производная магнитного поля в первом квадранте основного магнита. На верхнем луче импульс инжекции. Марка времени выше инжекции на 8 м сек.

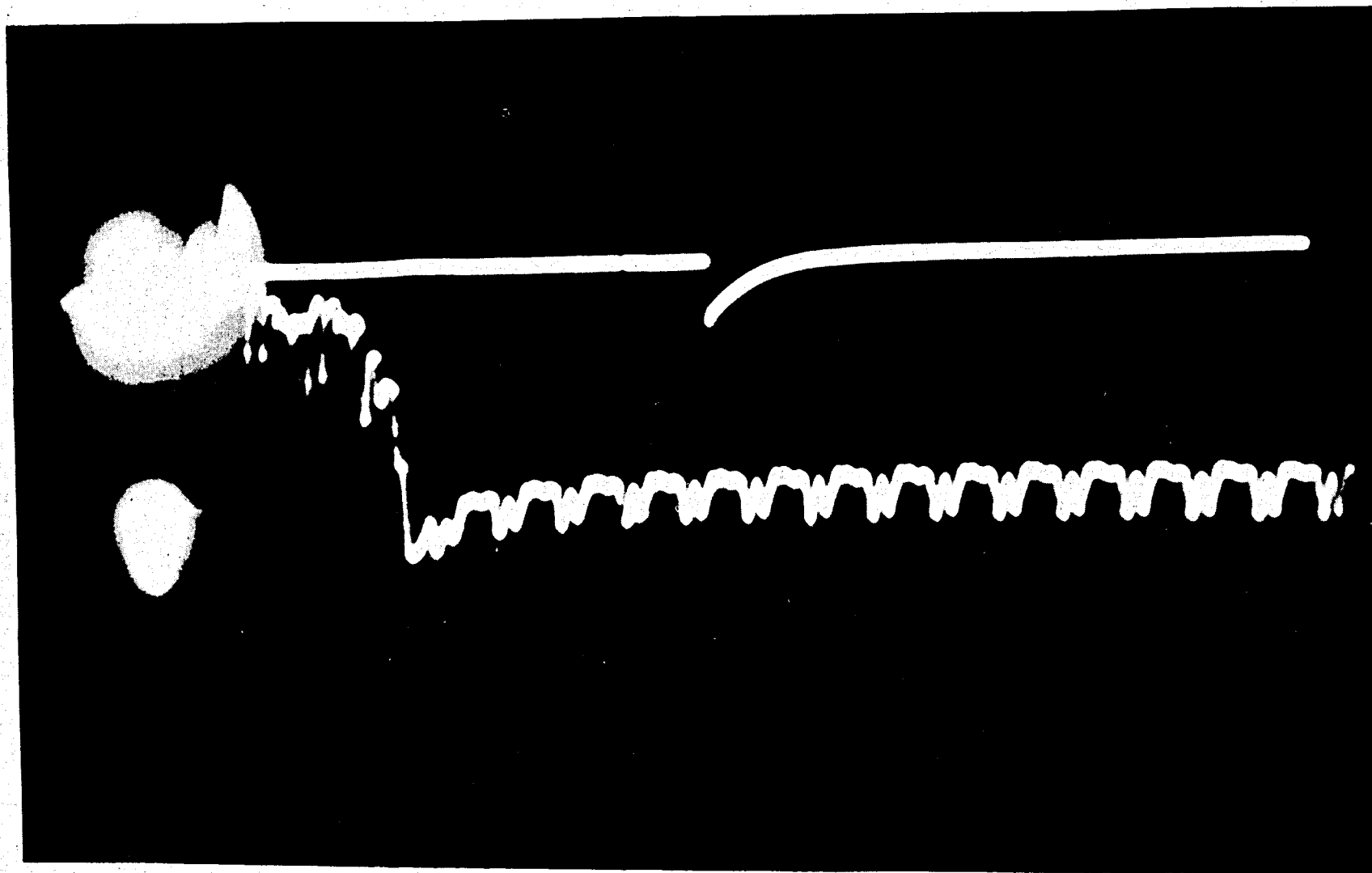


Фото № 5. Производная магнитного поля во втором квадранте основного магнита. На втором луче-импульс инжекции. Марка времени выше инжекции на 8 м сек.

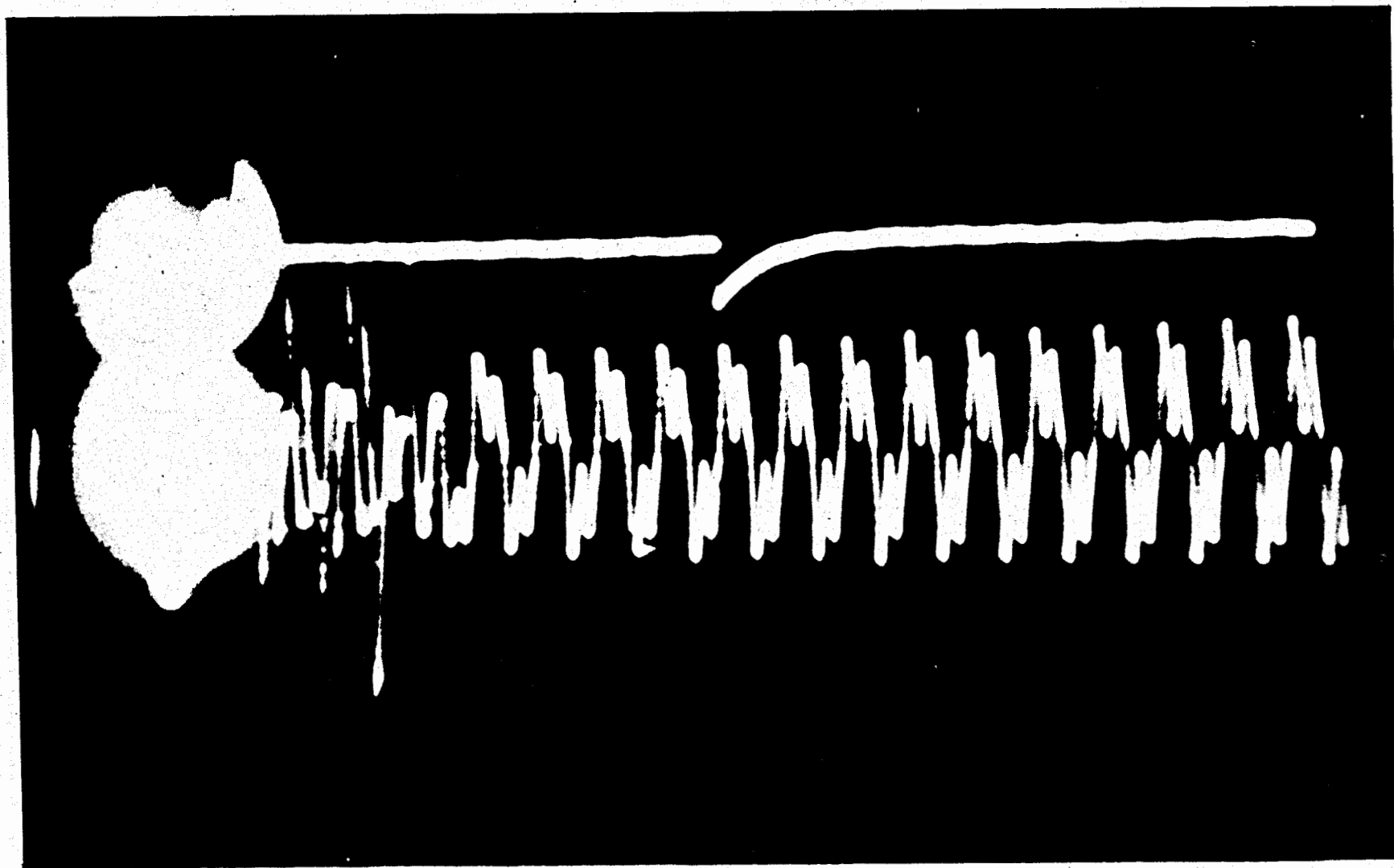


Фото № 6. Разностный сигнал между производными магнитного поля 2 и 4 квадрантов. На верхнем луче-импульс инъекции.  
Марка времени выше инъекции на 8 мсек.

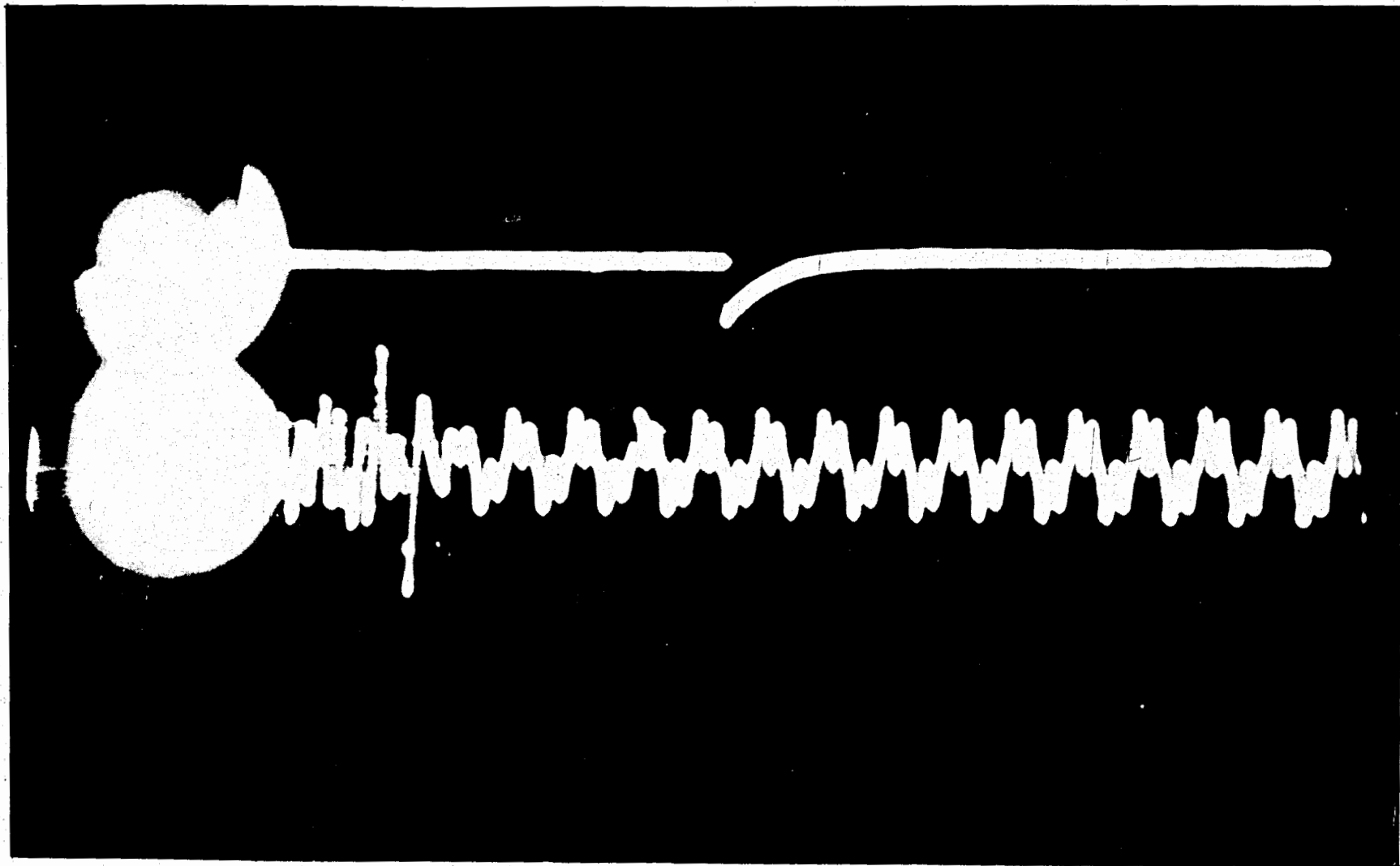


Фото № 7. Разностный сигнал между производными магнитного поля 1 и 3 квадрантов. На верхнем луче-импульс инъекции. Марка времени выше инъекции на 8 мсек.