

**АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ  
ЗАРЯДНЫХ ЦЕПЕЙ ГИН  
С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ СРАБАТЫВАНИЯ  
ПРИ ПИТАНИИ  
ОТ ИСТОЧНИКА ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Ю. Б. ФОРТЕС, В. Н. САФРОНОВ

(Представлена научным семинаром НИИ высоких напряжений).

Широкое использование импульсных напряжений и токов в прикладных целях привело за последние 10—15 лет к разработке новых методов генерирования периодических импульсов, к созданию новых и усовершенствованию существующих типов, схем и конструкций генераторов импульсов. Все более широкий круг технологических процессов охватывает применение генераторов импульсных токов (ГИТ), генераторов высоковольтных импульсных напряжений (ГИН), генератора Горева и т. д. Так, генераторы импульсных токов нашли применение в таких технологических процессах, как импульсная сварка [1], электроэрозионная обработка металлов [2], в ряде процессов при электрогидравлическом эффекте [3] и т. д. Претерпевают изменения в своем применении и генераторы высоковольтных импульсных напряжений. На начальной стадии своего развития ГИН применялись только как имитаторы разряда атмосферного электричества для импульсных испытаний и исследований изоляции электрооборудования высокого напряжения. При этом на первый план выдвигались проблемы формирования и передачи импульсов, энергетической же стороне импульсных установок уделялось меньшее внимание. В дальнейшем область применения ГИН непрерывно расширялась с одновременным усовершенствованием схем зарядки, конструктивного исполнения генераторов, с одновременным решением ряда технических требований, предъявляемых к ГИН. В настоящее время генераторы импульсных напряжений нашли широкое применение в физических лабораториях при изучении строения ядра, в промышленных установках для ускорения технологических процессов, в горной промышленности при бурении и дроблении пород [4]. За последнее время в технике получают большое распространение генераторы высоковольтных импульсных напряжений с повышенной частотой срабатывания, обеспечивающие фронт импульса  $\tau_f = 10^{-6} \div 10^{-7}$  сек, амплитуду 180—300 кВ и энергию в импульсе 200—3000 Дж. Эти генераторы используются при изучении физики пробоя твердых тел, исследованиях многоимпульсной прочности жидкой и твердой изоляции, а также находят широкое применение как технологические установки для разрушения твердых тел.

Использование генераторов импульсных напряжений с повышенной частотой срабатывания в технологических установках, наряду с обычными требованиями [4], предъявляет к ним дополнительные тре-



бования высокой надежности и стабильности работы в весьма длительных режимах, высокого к. п. д. и коэффициента мощности зарядных цепей.

В литературе отсутствуют какие-либо систематические данные по оценке к. п. д. и коэффициента мощности зарядных цепей высоковольтных импульсных генераторов с повышенной частотой срабатывания.

В настоящей статье проводится анализ коэффициента мощности зарядных цепей частотных импульсных генераторов напряжений, работающих в режиме «самозапуска» при зарядке от источника выпрямленного напряжения.

С рядом принятых допущений [5] схему замещения зарядной цепи частотного импульсного генератора можно представить колебательным контуром RLC и считать, что эквивалентное сопротивление R включает сопротивление зарядного трансформатора; омическое сопротивление защитного дросселя и сопротивление выпрямительного блока; эквивалентная индуктивность L включает в себя индуктивность зарядного трансформатора, индуктивность защитного дросселя. Исходными данными для расчета зарядных цепей частотных генераторов служат: амплитуда импульса, частота срабатывания  $f$ , величина зарядной емкости  $C$  либо энергия выходного импульса. Задачей анализа является определение оптимальных соотношений  $\frac{\omega_0}{\omega}$  и параметров RLC конту-

ра, обеспечивающего получение максимального коэффициента мощности в номинальном режиме работы.

В ходе анализа проводились расчеты режимов зарядки конденсаторной батареи при различных заданных параметрах контура и частотах срабатывания генератора.

При этом были приняты следующие допущения:

1. Параметры зарядного контура частотных генераторов являются линейными.

2. Время разряда генератора несоизмеримо мало с периодом зарядки конденсаторной батареи, и ГИН срабатывает немедленно при достижении  $U_c = \text{const}$ .

3. Угол включения  $\psi_u$  принят равным 0, поскольку существует целый ряд режимов, в которых генератор непременно приходит к  $\psi_u = 0$ .

При проведении расчетов значения зарядной емкости ГИН принимались в диапазоне 0,1—1 мкф. Частота срабатывания генераторов от 2,5 1/сек до 50 1/сек, значение активного сопротивления разрядного контура 0—10000 ом.

Указанные величины охватывают диапазон изменения параметров и режимов работы генераторов импульсов, используемых при электроимпульсной технологии.

Коэффициент мощности цепи заряда  $k_m$  представляет собой отношение активной мощности, потребляемой нагрузкой к входным вольтамперам.

$$k_m = \frac{P}{I_g \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}}} = \frac{\frac{CU_c^2}{2} \cdot f}{\frac{I_g \cdot U_m}{\sqrt{2}}} \quad (1)$$

Вводя ряд коэффициентов, формулу (1) можно представить в следующем удобном для анализа виде:

$$k_m = \frac{k^2}{k_1} \cdot \frac{C \cdot f}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$



где

$$k_1 = \sqrt{\frac{1}{T_n} \sum_{n=1}^{n=\infty} \int_0^{t_3} \varphi^2(t) dt}.$$

В свою очередь,

$$\varphi(t) = \frac{1}{z} \left\{ \sin(\omega t + \psi_i) - e^{-bt} \left[ \frac{\omega_0^2}{\omega \omega^1} \cdot \cos \psi_i - \frac{b}{\omega^1} \sin \psi_i \sin \omega^1 t + \right. \right. \\ \left. \left. + \sin \psi_i \cos \omega^1 t \right] \right\},$$

$$k = \frac{U_c}{U_m} = \frac{1}{z \omega C} \left\{ \sin(\omega t + \psi_u) - e^{-bt} \left[ \left( -\frac{b}{\omega_0} \sin \psi_u + \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\omega}{\omega_0} \cos \psi_u \right) \sin \omega^1 t + \sin \psi_u \cdot \cos \omega^1 t \right] \right\}.$$

Здесь  $U_c$  — напряжение срабатывания генератора;

$U_m$  — амплитуда зарядного напряжения;

$T_n$  — период повторения импульсов;

$C$  — зарядная емкость конденсаторной батареи;

$n$  — число полупериодов выпрямленного напряжения одного знака (в нашем случае  $n$  изменялось от 1 до 20, что соответствовало изменению частоты срабатывания генератора от 50 до 2,5 *имп/сек*);

$\omega_0$  — собственная круговая частота колебательного контура;

$\omega$  — круговая частота сети, равная 314;

$\psi_i$  — фаза тока;

$\psi_u$  — угол включения напряжения.

Из приведенной формулы (2) видно, что коэффициент мощности не зависит от абсолютных величин зарядного напряжения  $U_m$  и напряжения на емкости  $U_c$ , а является функцией их соотношения. Это обстоятельство позволяет проводить анализ коэффициента мощности независимо от того, что принимается за постоянную величину  $U_c$  или  $U_m$ .

Коэффициенты  $k$  и  $k_1$  в формуле (2) определяются параметрами зарядного контура и зависят от частоты срабатывания генератора. В табл. 1 приведены значения  $k$  и  $k_1$  при изменении частоты срабатывания от 50 до 2,5 *гц* для одного из рассматриваемых при анализе вариантов.

Таблица 1

$\omega_0/\omega$ $f$ <i>имп/сек</i>	0,2		0,3		0,4		Примечание
	$k$	$k_1 \times 10^{-5}$	$k$	$k_1 \times 10^{-5}$	$k$	$k_1 \times 10^{-5}$	
50	0,210	1,37	0,403	2,73	0,599	4,22	$C=1 \times 10^{-6} \Phi$ $R=1000 \text{ ом}$ $\psi_u=0$
25	0,334	1,15	0,539	2,08	0,690	3,05	
16,7	0,419	1,01	0,618	1,74	0,742	2,5	
12,5	0,485	0,908	0,671	1,52	0,777	2,18	
10	0,532	0,83	0,710	1,37	0,802	1,95	
5	0,678	0,625	0,812	0,985	0,868	1,38	
2,5	0,797	0,51	0,885	0,695	0,915	0,98	



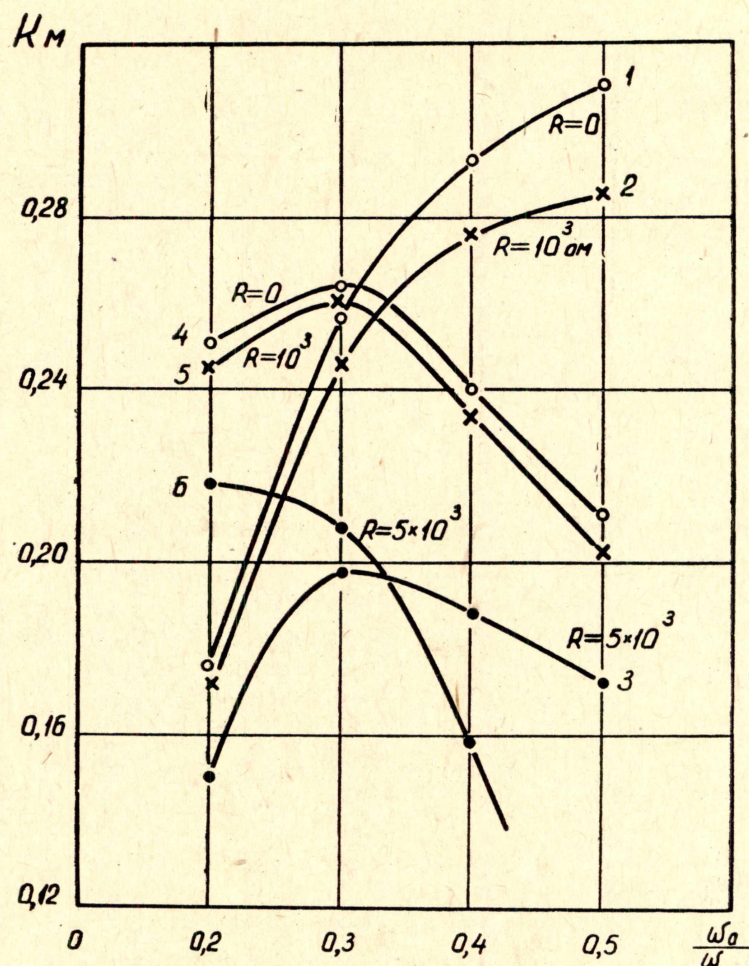


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности от соотношения  $\omega_0/\omega$  при различных значениях сопротивлений зарядного контура. Величина зарядной емкости равна  $1 \times 10^{-6}$  ф, угол включения  $\Psi_{\text{н}}=0$ .  
 1, 2, 3 — частота срабатывания генератора 25 имп/сек.  
 4, 5, 6 — частота срабатывания генератора 10 имп/сек

На рис. 1 и 2 представлены типовые расчетные зависимости коэффициента мощности зарядной цепи генераторов от соотношения  $\omega_0/\omega$  для постоянной частоты срабатывания при различных значениях сопротивления  $R$  и емкости  $C$  контура соответственно. Из представленной на рис. 1 зависимости видно, что коэффициент мощности уменьшается с увеличением значений эквивалентного сопротивления во всем диапазоне изменений  $\omega_0/\omega$ .

Кроме того, общий ход зависимостей  $k_M = \varphi(\omega_0/\omega)$  как на рис. 1, так и на рис. 2 при различных частотах срабатывания и равных прочих условиях не является идентичным.

Если при частоте срабатывания генератора 25 имп/сек зависимость  $k_M = \varphi(\omega_0/\omega)$ , кривая 2 на рис. 2 имеет максимум при значении  $\omega_0/\omega = 0,3$ , то при частоте срабатывания генератора 10 имп/сек (кривая 3 на рис. 2) зависимость  $k_M = \varphi(\omega_0/\omega)$  не имеет максимума, значения  $k_M$  уменьшаются с увеличением отношения  $\omega_0/\omega$ .

Изменение коэффициента мощности от частоты срабатывания генератора при постоянных параметрах контура представлено типовыми зависимостями на рис. 3 и 4. Из рис. 3 видно, что с ростом значений



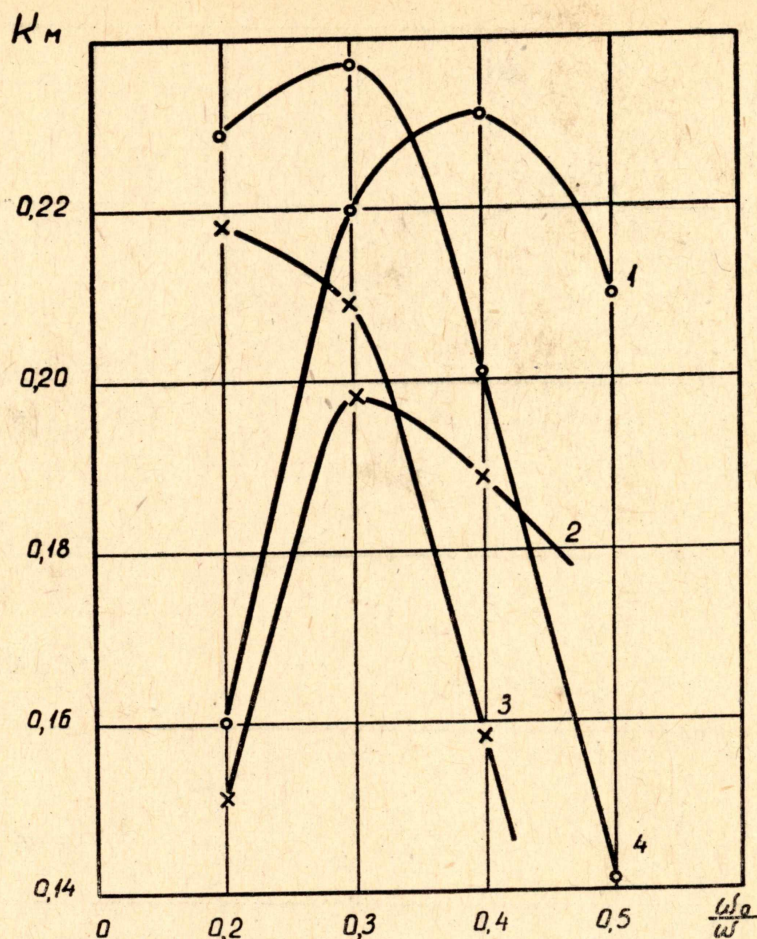


Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности от соотношения  $\omega_0/\omega$  при различных значениях зарядной емкости. Сопротивление зарядного контура  $R=5000$  ом, угол включения  $\Psi_u=0$ .  
 1 — для  $C=0,625 \times 10^{-6}$  ф при частоте срабатывания 25 имп/сек,  
 2 — для  $C=1 \times 10^{-6}$  ф при частоте срабатывания 25 имп/сек,  
 3 — для  $C=1 \times 10^{-6}$  ф при частоте срабатывания 10 имп/сек,  
 4 — для  $C=0,625 \times 10^{-6}$  ф при частоте срабатывания 10 имп/сек

сопротивлений коэффициент мощности зарядных цепей уменьшается во всем диапазоне увеличения частот срабатывания генератора от 0 до 50 имп/сек.

Характер зависимости коэффициента мощности от частоты срабатывания генератора определяется соотношением круговых частот  $\omega_0/\omega$  при прочих равных условиях. При  $\omega_0/\omega=0,2; 0,3$  (рис. 4) с увеличением частоты срабатывания генератора от 1 до 50 имп/сек коэффициент мощности растет до своей максимальной величины и затем уменьшается; при  $\omega_0/\omega=0,4; 0,5$  с ростом частоты срабатывания генератора имеет место рост коэффициента мощности без наличия оптимума в данном интервале частот.

Из рис. 4 также видно, что в области малых частот срабатывания генератора (1—10 имп/сек) большие значения коэффициента мощности имеют место при меньших соотношениях  $\omega_0/\omega$ , а в области больших частот срабатывания ( $f > 20 \frac{\text{имп}}{\text{сек}}$  генератора большим значениям



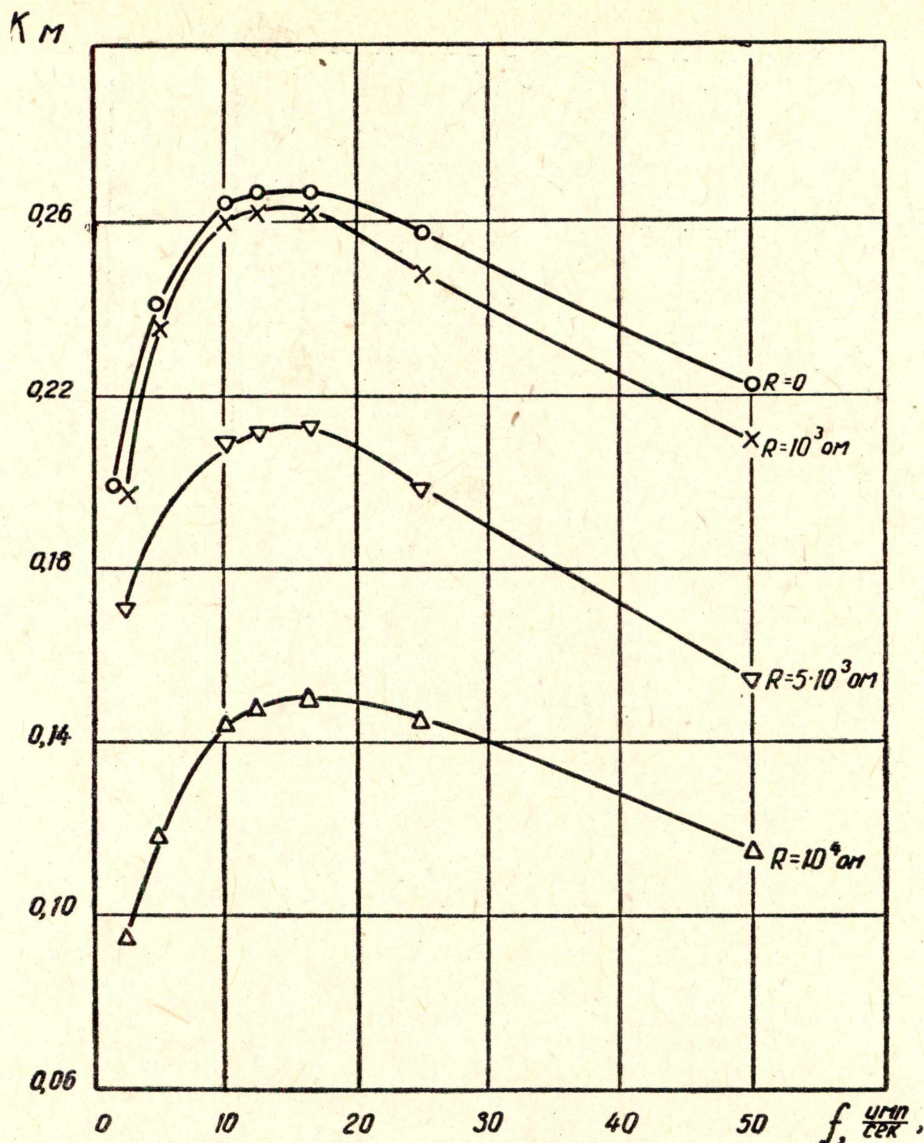


Рис. 3. Изменение коэффициента мощности от частоты срабатывания генератора при различных значениях сопротивлений зарядного контура. Зарядная емкость  $C=1 \times 10^{-6}$  ф,  $\omega_0/\omega=0,3$ ;  $\Psi_a=0$

$K_M$  соответствуют большие соотношения  $\omega_0/\omega$ . Кроме того, в области малых частот срабатывания генератора заданной частоте срабатывания соответствует единственное оптимальное соотношение  $\omega_0/\omega$ , обеспечивающее максимальное значение коэффициента мощности при данных исходных параметрах, тогда как в области больших частот чем больше соотношение  $\omega_0/\omega$ , тем выше значение коэффициента мощности, при прочих равных условиях.

### Выводы

1. При работе ГИН в режиме «самозапуска» коэффициент мощности цепей заряда ГИН определяется значениями омического сопротивления в контуре, соотношением круговых частот  $\omega_0/\omega$  и частотой срабатывания генератора.

2. При питании от источника выпрямленного напряжения максимальные значения коэффициента мощности получаются при  $R=0$ , что нереально для практических контуров, и даже в этом идеальном случае не превышает 0,45.



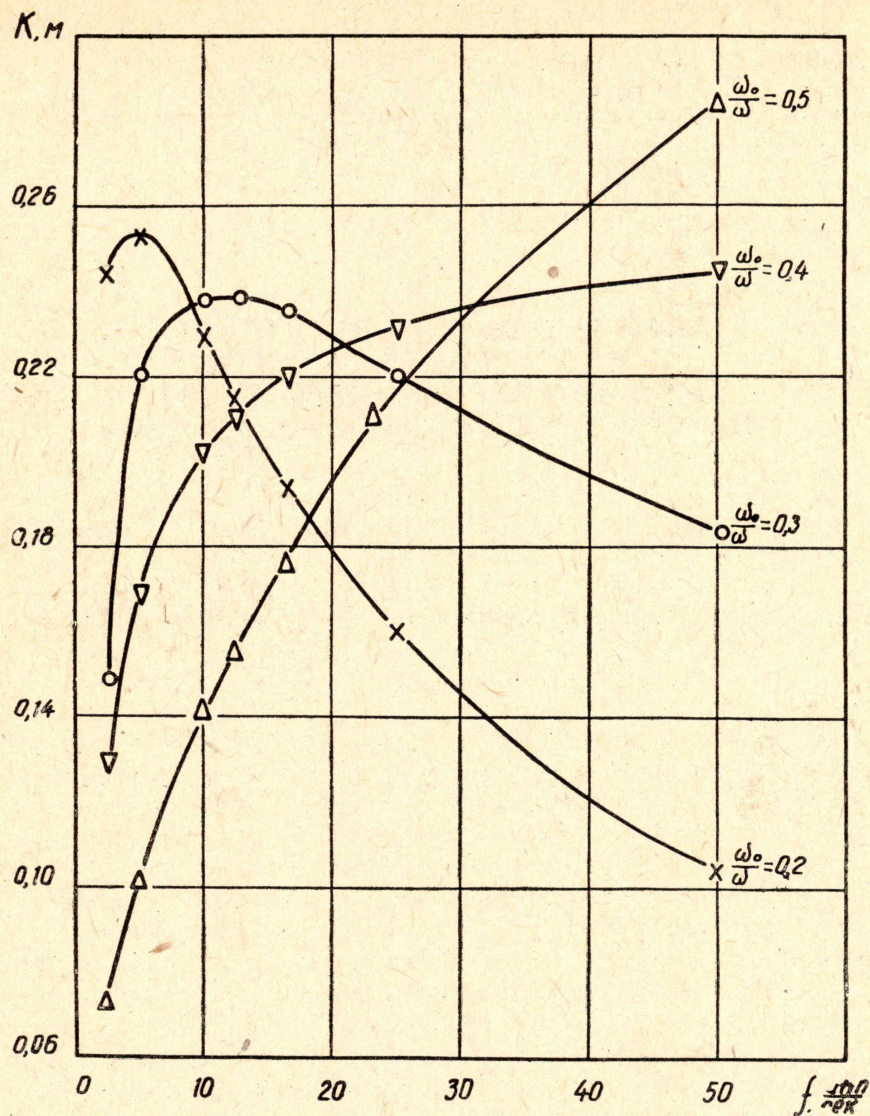


Рис. 4. Зависимость коэффициента мощности зарядной цепи от частоты срабатывания генератора при различных соотношениях  $\omega_0/\omega$ . Зарядная емкость  $C=0,625 \times 10^{-6}$  ф,  $R=5000$  ом,  $\Psi_{\text{и}}=0$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев. Генераторы периодических импульсов сильного тока. Госэнергоиздат. 1959.
2. А. Л. Лившиц. Электроэрозионная обработка металлов. Машгиз. 1957.
3. Л. А. Юткин. Электрогидравлический эффект. Машгиз, 1955.
4. С. М. Смирнов, П. В. Терентьев. Генераторы импульсов высокого напряжения. М., Энергия, 1964.
5. И. И. Каляцкий, Р. Э. Клейн, В. С. Баранцев, П.Т.Э. 2.108, 1964.