

INSTITUT UNIFIE DE RECHERCHES NUCLEAIRES, DUBNA

Rapport 13.5 4946

Document received by CERN  
**PRIVATE COMMUNICATION**  
Not to be quoted or copied without author's permission

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00100626

GENERATEURS ELECTROSTATIQUES A ROTOR  
AVEC TRANSPORTEUR-DIELECTRIQUE

L.G. Makarov

Dubna 1970

Traduit au CERN par M. Besroukoff  
(Original : russe)

(CERN Trans. Int. 71-2)

Genève

Avril 1971

## I n t r o d u c t i o n

Les générateurs électrostatiques à rotor ( $P3\Gamma$ ) sont largement utilisés comme sources avantageuses de haute tension lors d'expériences de physique avec des particules chargées, ainsi que dans certains procédés technologiques utilisés dans l'industrie. Ces sources servent à alimenter des tubes accélérateurs, des séparateurs électrostatiques, diverses plaques d'infecteurs et, dans le domaine de l'industrie, plus particulièrement, des installations de précipitations électrostatiques.

Les générateurs électrostatiques sont de très anciennes machines destinées à convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Jusqu'à présent, c'est le seul type de machine connu capable de produire du courant continu "pur". Néanmoins, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de théorie des  $P3\Gamma$  qui puisse expliquer tous les phénomènes se produisant à l'intérieur de ceux-ci. Cette circonstance freine le développement et la fabrication en série de générateurs. Dans de nombreux centres scientifiques en Union Soviétique ainsi qu'à l'étranger, des études sont faites dans ce domaine et des modèles uniques sont construits selon les besoins concrets et les possibilités.

Le présent article donne un aperçu de certains éléments concernant la structure de trois modèles de générateurs électrostatiques qui sont étudiés et construits au Laboratoire des hautes Energies de l'Institut unifié de Recherches nucléaires, et de certaines de leurs caractéristiques.

Structure des générateurs

Le schéma de principe d'un **РЭГ** bipolaire avec transporteur de charges (rotor) en diélectrique est représenté à la fig. 1. Le champ électrique est constitué par une source extérieure de tension (source d'excitation) (9), située sur le chargeur entre l'inducteur (11) et l'ioniseur mis à la terre (10).

Les charges qui se sont formées aux dépens de ce champ dans la zone de l'ioniseur (10) se déposent sur un rotor en mouvement (1) qui les transmet au circuit récepteur. Ce dernier consiste en un inducteur (3) et un ioniseur de débit (4), reliés entre eux et reliés à la charge. L'accroissement du potentiel des charges qui se sont déposées sur le disque unitaire du rotor, résulte de la diminution de la capacité de ce disque unitaire par rapport à la terre lors du déplacement du rotor du point 10 vers le point 4. Dans la zone de l'ioniseur de débit (4) les charges, transportées par le rotor et dont le potentiel s'est accru, sont neutralisées aux dépens des charges de signe inverse qui sont passées par la charge. Dans ce cas, la charge est constituée par deux diviseurs et une batterie de condensation. La résistance (5) sert à la mesure de la tension de sortie et au prélèvement du signal du système de stabilisation (8), tandis que la résistance (6) joue le rôle de consommateur présumé. La batterie de condensation (7) est prévue pour atténuer les variations lentes de la tension de sortie. Le stator (2) sert à égaliser le potentiel le long du rotor.

Il existe deux modèles de générateurs qui se distinguent par la forme de leur rotor: le type **РЭГ-Д** (le rotor est en forme de disque) et le type **РЭГ-Ц** (le rotor est cylindrique). La fig. 2 illustre un **РЭГ-Д-125**. La carcasse du générateur (7) est en verre organique et est fixée au socle métallique, qui lui-même fait partie du réservoir. Le réservoir contenant le générateur

se ferme hermétiquement à l'aide d'un couvercle (4). Sur ce couvercle sont fixés les câbles d'entrée de la tension d'excitation (3) et les câbles de sortie haute tension. Le rotor (6) est fixé de façon rigide sur un axe d'acier (2) et est actionné aux paliers de rotation par un moteur électrique (10), par l'intermédiaire d'un accouplement élastique (12). Le stator (5) est fixé à la carcasse du générateur par quatre griffes en textolite. Le chargeur (ioniseur (9), inducteur (8a)) et le déchargeur (ioniseur (14), inducteur (14a)) sont logés dans des encoches pratiquées dans la carcasse et y sont fixés. Les ioniseurs des deux appareils sont pourvus de vis qui permettent de régler la position des ioniseurs par rapport au plan du rotor. Le remplissage du réservoir avec du gaz et le contrôle de la pression s'effectuent au moyen d'une conduite de gaz (13). La pression alimentant le moteur électrique arrive par l'entrée (9); le refroidissement du moteur est assuré par un jet d'eau passant par un serpentin de cuivre (11).

La fig. 3 illustre de façon schématique un générateur avec rotor cylindrique du type **РЭГ-Ц-300**.

L'élément principal du **РЭГ** est le rotor. Les rotors sont fabriqués selon des procédés technologiques spéciaux, de tissu de verre à base d'époxyde. Ces rotors se distinguent par leur grande solidité, malgré leur faible épaisseur et leur poids relativement peu élevé. Le coefficient relatif de perméabilité diélectrique du matériau dont est fait le rotor équivaut à environ 6 unités. Pour tous les modèles de générateurs, on utilise des moteurs électriques asynchrones types. Certaines caractéristiques structurales et électriques des **РЭГ** sont rassemblées en un tableau.

### Relevé des caractéristiques

Le relevé des caractéristiques en court-circuit (c.c.) et des caractéristiques en charge s'est effectué suivant le schéma de la fig. 1. Pour la méthode en c.c., on a utilisé les appareils mentionnés dans la fig. 1.

- a)  $I_3$  = ampèremètre pour la mesure du courant entrant dans le générateur,
- b)  $I_8$  = ampèremètre pour la mesure du courant dans le circuit d'excitation,
- c)  $I_r$  = ampèremètre pour la mesure du courant de sortie du générateur,
- d) kV1 = voltmètre pour la mesure de la tension d'excitation.

Lors du relevé des caractéristiques en charge, on a branché au diviseur (5) un voltmètre (kV2) qui a servi à déterminer la tension de sortie du générateur,  $U_2$ . La résistance (6), les condensateurs (7) et le système de stabilisation (8) ont été débranchés pendant toute la durée des expériences. Lors du relevé des caractéristiques en c.c., la résistance (5) a également été débranchée, tandis que l'ampèremètre  $I_r$  a été branché directement à la sortie haute tension.

La fig. 4 donne les caractéristiques en c.c. du РЭГ-Д-125 en fonction de la tension d'excitation ( $U_1$ ), la pression dans le réservoir d'azote étant de 5 et 8 atm. Sur cette même figure sont indiquées les caractéristiques en charge pour une pression d'azote de 8 atm. Les courbes 1, 2 et 3 de la fig. 4 indiquent qu'à une certaine tension d'excitation, le générateur (rotor) est "saturé" (à une pression d'azote de 8 atm,  $U_1 = 28$  kV), c'est-à-dire que lorsque  $U_1$  augmente par la suite, le courant  $I_3$  continue de s'accroître, tandis que le courant  $I_r$  reste constant après avoir subi une légère décroissance. Le courant  $I_8$  représente dans ce cas particulier la différence entre le courant  $I_3$  et le courant  $I_r$ . Jusqu'au moment de la "saturation" du rotor, les bandes

lumineuses ne sont observables que du côté des ioniseurs. Dès que la "saturation" commence, de faibles bandes lumineuses apparaissent, qui augmentent au fur et à mesure qu'augmente la tension d'excitation du côté de l'inducteur. Le seuil de "saturation" du rotor dépend de la pression du gaz. Ce fait est confirmé par la courbe 3 de la fig. 4. A une pression d'azote de 8 atu et à la plus grande  $U_1$  possible ( $U_1 = 40 \text{ kV}$ ), le courant  $I_0$  était inexistant.

A une tension de sortie  $U_2 = 142 \text{ kV}$ , des décharges se forment à la surface du rotor entre le chargeur et le déchargeur. Cela signifie probablement que le stator ne fonctionne pas de façon totalement satisfaisante. Il faut considérer  $U_2 = 142 \text{ kV}$  comme tension limite pour un **РЭГ-Д-125**, pour une pression d'azote de 8 atu dans le réservoir. La tension de fonctionnement pour un **РЭГ-125** est de 125 kV.

Les caractéristiques du modèle **РЭГ-Д-300** sont indiquées dans la fig. 5, en fonction de  $U_1$  et pour une pression de 8 atu. On peut également observer une "saturation du rotor" dans un **РЭГ-Д-300**, lorsque la pression d'azote est inférieure à 3 atu.

La fig. 6 donne les caractéristiques des générateurs **РЭГ-Ц-300** en fonction de  $U_1$ , pour une pression d'azote de 8 atu dans le réservoir.

On observe dans les **РЭГ** un phénomène particulier appelé "réaction d'armature". La "réaction d'armature" correspond à une non-coïncidence entre la quantité de courant  $I_r$ , relevé en court-circuit, et le courant du générateur, mesuré en charge, pour une seule et même grandeur  $U_1$ . L'existence de la "réaction d'armature" est conditionnée par l'apparition de capacités parasites au fur et à mesure de l'accroissement de  $U_2$ , et peut-être par d'autres circonstances.

On procède à l'essai des différents modèles de **РЭГ** après avoir rempli les bacs d'azote sec à l'état gazeux, et d'air sec. Aucune différence n'a été enregistrée dans les caractéristiques en c.c. entre le remplissage à l'air sec et à l'azote. Néanmoins, le remplissage à l'azote est préférable.

Les ions d'azote sont plus mobiles que les ions d'air, et l'azote est moins agressif que l'air. Une vue d'ensemble d'un générateur du type **РЭГ-Д-300** est présentée dans la fig. 7.

### C o n c l u s i o n

1. La production de courant continu à l'aide des **РЭГ** présente toute une série d'avantages, si on la compare aux autres méthodes connues. Ces avantages sont les suivants:
  - a) dépenses relativement peu élevées pour la fabrication de générateurs, faits de matériaux largement accessibles;
  - b) possibilité d'obtenir une tension de sortie élevée avec une bonne stabilisation (jamais au-delà de 0,1%) compte tenu des petites dimensions du générateur;
  - c) facilité de transport du générateur;
  - d) fiabilité, sécurité et facilité d'exploitation du générateur.
2. Une brève analyse des caractéristiques en court-circuit et des caractéristiques en charge a permis de conclure que, pour augmenter les paramètres de sortie du générateur ( $I_p$ ,  $U_2$ ), il est indispensable d'agrandir la surface "active" du rotor.

Les générateurs décrits ci-dessus sont destinés essentiellement aux travaux sur la charge capacitive. C'est pourquoi les courants de fonctionnement et les puissances développées par le générateur sont insuffisants. Si on force la puissance du générateur au-delà de la limite, on constate l'apparition de décharges le long du rotor. Un accroissement de la tension ainsi qu'un fonctionnement ininterrompu pendant 2 - 3 heures diminuent les risques de telles ruptures et permettent d'augmenter la puissance de sortie par rapport à celle indiquée dans le tableau.

3. Les modèles de **РЭГ** conçus et fabriqués au Laboratoire des hautes Energies de l'Institut unifié des Recherches nucléaires possèdent certaines particularités qui les distinguent des autres appareils connus:

- a) les connexions sont agencées de telle sorte que les générateurs sont de petites dimensions. Le gaz dont sont remplis les générateurs est le moins dangereux et le moins cher; il s'agit de l'azote, à une pression de 7-8 atu. Ceci a sensiblement facilité la construction du réservoir du générateur et a permis de réduire les dépenses totales en métal;
  - b) la sélection des matériaux et la structure du rotor, qui possède des particularités diélectriques, mécaniques et thermiques satisfaisantes, permet d'assurer, dans le cadre d'une technologie relativement simple pour ce qui est de la fabrication, un transport de charges suffisant pour permettre le développement de hautes énergies;
  - c) la disposition des paliers, dans lesquels tourne le rotor, à la vitesse de 3000 tours/min., permet de réduire au minimum l'écart entre le rotor et le stator, assure la régularité de cet écart et diminue les vibrations du rotor;
  - d) les ioniseurs assurent une ionisation du gaz suffisante pour la production de courant, la pression de gaz étant relativement faible dans le réservoir; en outre, la structure des ioniseurs permet de régler l'écart pendant le fonctionnement du rotor et lorsque le réservoir du générateur est ouvert; ceci permet d'utiliser, pour l'excitation du générateur, des sources à faible tension et à courant pratiquement nul.
4. Entre les plaques d'induction, le courant de conduction du stator produit, conformément à la loi d'Ohm, un champ tangentiel uniforme. La résistivité spécifique du matériau du stator doit être en rapport défini avec la résistivité spécifique du rotor; environ 1000 fois plus faible. Aucune solution valable et définitive n'a été trouvée au problème du choix du matériau du stator, lors du processus d'élaboration des modèles de **РЭГ** décrits. C'est pourquoi la puissance déployée par les générateurs est faible, et les capacités parasites élevées lorsqu'on atteint de hautes tensions.



Pour la fabrication des stators, on a utilisé du verre époxyde et du verre organique; on a utilisé également des enduits à base de diverses laques semi-conductives. On préfère utiliser des stators en verre organique et en époxyde de verre sans enduit.

L'auteur tient à exprimer sa reconnaissance pour les conseils qu'ils lui ont fournis à MM N.I. PAVLOV, L.N. BELYAEV, V.P. SARANTESEV, N.I. MALASHKEVICH, ainsi qu'à R.E. KASHUNIN, A.P. KOSHEEV, V.F. ORLOV, I.M. SEMENOV, M.A. NEVZOROV, A.S. FILIPPOV et N.K. SOBOLEV pour l'aide apportée dans la construction, l'assemblage et la réalisation des expériences sur les modèles de générateurs décrits ci-dessus.

B i b l i o g r a p h i e

1. K.A. ADRIYANOV, N.P. BOGORODITSKIJ, Yu.V. KORITSKIJ, B.M. TARBEV.  
Manuel des éléments électrotechniques. Vol. I, GEI, 1958 et  
Vol. II, GEI, 1960.
2. A.A. VOROB'EV, G.A. VOROB'EV, N.I. VOROB'EV, A.F. KALGANOV,  
I.I. KALYATSKIJ, V.D. KUCHIN, G.A. MESYATS, C.F. POKROVSKIJ,  
K.K. SONCHIK, A.T. CHEPIKOV. Equipement d'essai haute tension  
et mesures. GEI, 1960.
3. E.G. KOMAR. Accélérateurs de particules chargées. Atomizdat, 1964.
4. Appareillage électrophysique. Recueil d'articles. 2e édition,  
Atomizdat, 1964.
5. O.B. BRON. Champ électromagnétique en tant que type de matière.  
GEI, 1962.
6. K.I. CHERNIK. Les compounds en époxyde et leur utilisation.  
SUDPROMGIZ, 1959.
7. N.I. BATURIN. Isolation en fonte pour haute tension. GEI, 1963.
8. V.V. MIKHAILOV. Evaluations et construction d'appareillage  
haute tension. GEI, 1955.

1e Partie

TABLEAU

1. CARACTERISTIQUES STRUCTURALES

Désignation des caractéristiques	РЭГ-Д-125	РЭГ-Д-300	РЭГ-Ц-300	Observations
1. Données fondamentales:				
a) hauteur, sans la sortie haute tension, cm	62,0	87,5	108,5	
b) diamètre maximum du réservoir, cm	34,0	50,0	50,0	
2. Poids du générateur, sortie haute tension comprise, kg	150,0	315,0	350,0	
3. Volume total, l	23,8	78,35	82,0	
4. Volume de gaz, l	13,0	54,5	60,6	
5. Type de rotor	disque	disque	cylindre	
6. Diamètre du rotor, mm	270/160	400/290	300	
7. Epaisseur du rotor, mm	3,5	3,1	2,3	
8. Matériau du stator	verre org.	verre org.	époxyde	
9. Longueur de l'inducteur, mm	45,0	50,0	72,0	
10. Largeur de l'inducteur, mm	30,0	30,0	32,0	
11. Longueur de la bande lumineuse, mm	45,0	45,0	72,0	
12. Ecart entre le rotor et le stator, mm	0,5	0,7	0,5	
13. Ecart entre le rotor et l'ioniseur, mm	0,35	0,7	0,25	
14. Surface "active" du rotor, cm <sup>2</sup>	150,0	225,0	425,0	

2e Partie

2. CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

1. Tension maximum admise U2, <b>kV</b>	142,0	315,0	320,0
2. Tension de fonctionnement U2, <b>kV</b>	125,0	300,0	300,0
3. Courant maximum en c.c. avec U1=40 <b>kV</b> , P=8 atu, $\mu$ A	140,0	300,0	700,0
4. Puissance développée, W	12,0	30,0	60,0
5. Courant de fonctionnement, avec U2 de fonctionnement, $\mu$ A	100,0	100,0	200,0

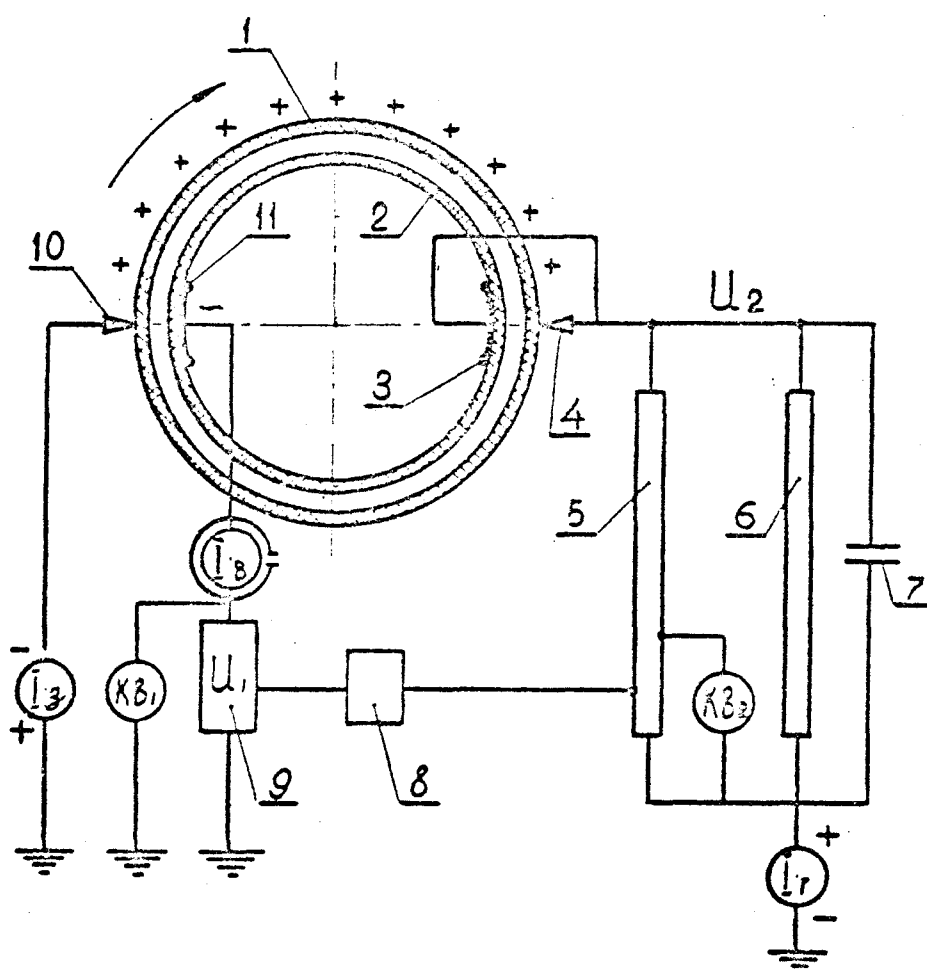


Fig. 1. Schéma de principe d'un P3R bipolaire avec transporteur de charges en diélectrique.

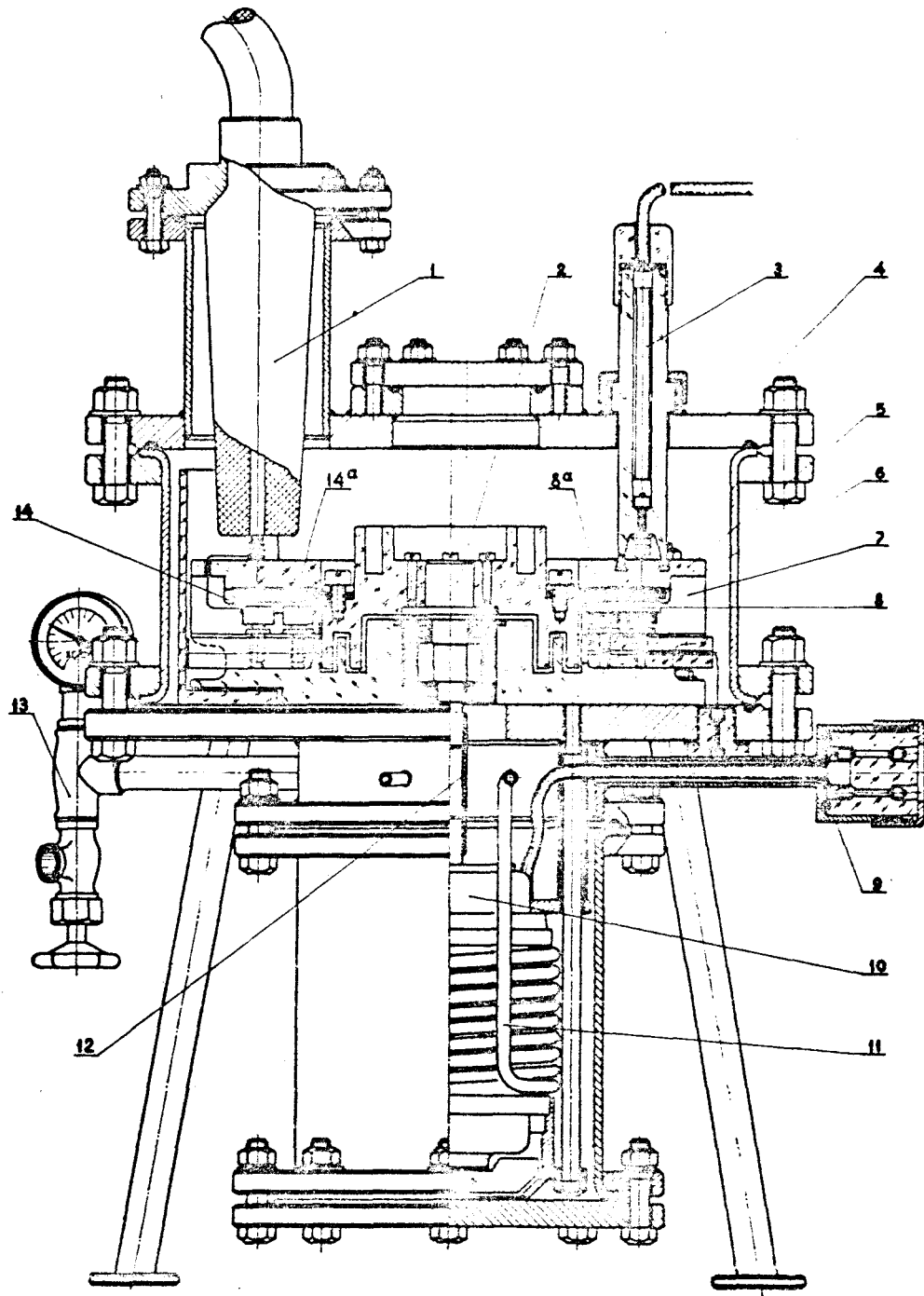


Fig. 2. Eléments du modèle РЭЛД-125.

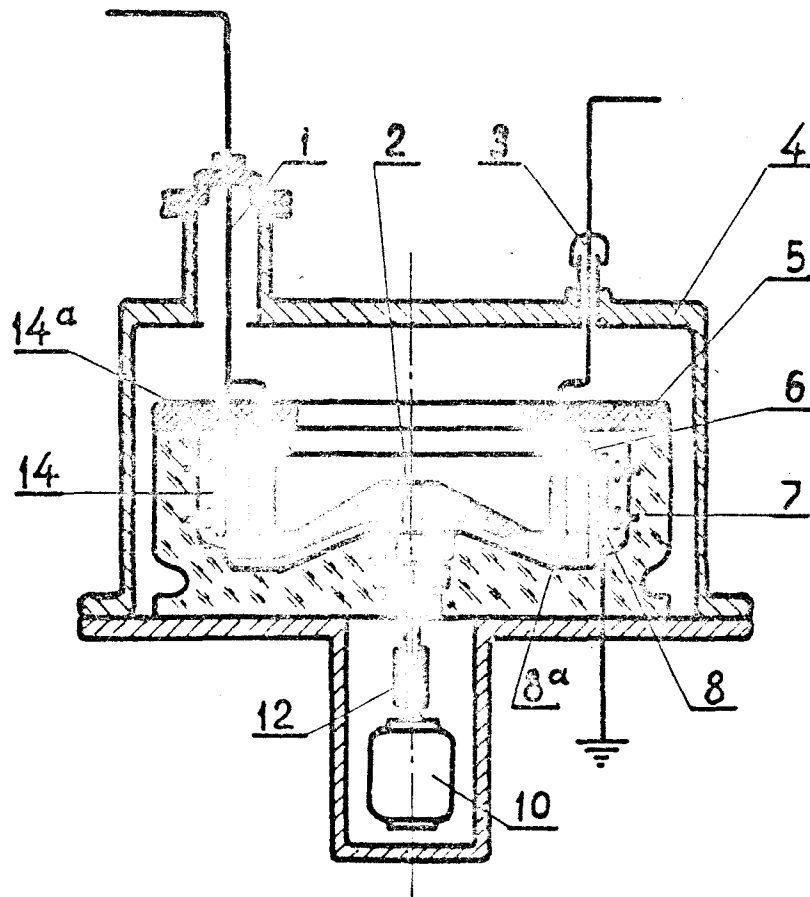


Fig. 3. Eléments du modèle PЭГ.Ц-300.

1. Sortie du câble haute tension
2. Axe en acier
3. Entrée du câble de tension d'excitation
4. Réservoir métallique
5. Stator
6. Rotor cylindrique
7. Carcasse du générateur
8. Ioniseur d'excitation
- 8a. Inducteur d'excitation
10. Moteur électrique
12. Accouplement élastique
14. Ioniseur de décharge
- 14a. Inducteur de décharge

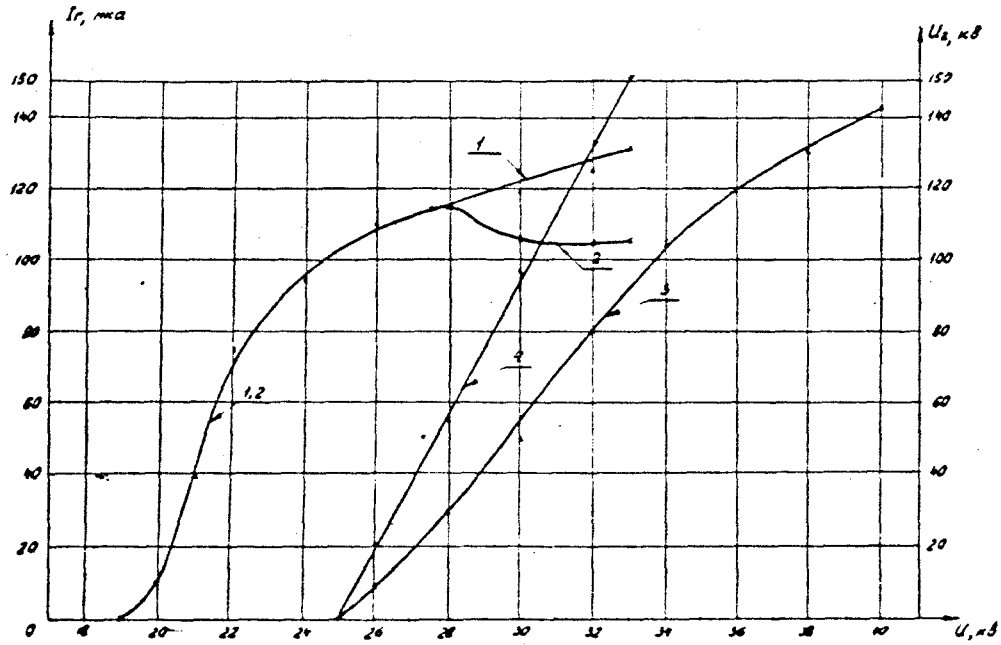


Fig. 4. Caractéristiques en court-circuit et caractéristiques en charge du modèle **РЭГ.Д**-125.

1. Dépendance du courant  $I_3$  de la tension d'excitation (Pression dans le réservoir  $P = 5$  atu)
2. Dépendance du courant  $I_1$  de la tension d'excitation (Pression dans le réservoir = 5 atu)
3. Dépendance du courant  $I_1'$  de la tension d'excitation (Pression dans le réservoir = 8 atu)
4. Dépendance de la tension de sortie ( $U_2$ ) de la tension d'excitation (Pression dans le réservoir = 8 atu; coefficient d'échauffement  $R = 2000 \text{ m}\Omega$ )



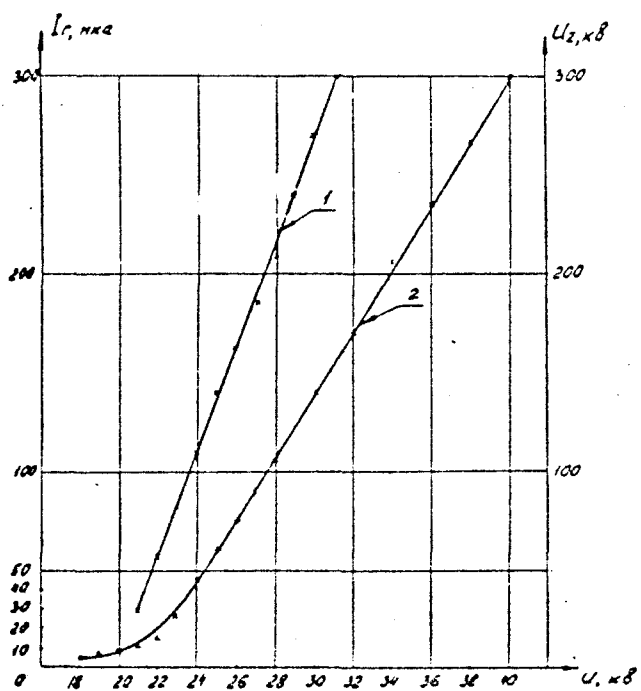


Fig. 5. Caractéristiques en charge et caractéristiques en court-circuit du modèle PЭГ-Д-300, pour une pression de 8 atu dans le réservoir.

1. Dépendance de la tension de sortie ( $U$ ) de la tension d'excitation; coefficient d'échauffement  $R = 3000 \text{ m}\Omega$
2. Dépendance du courant  $I_r$  de la tension d'excitation

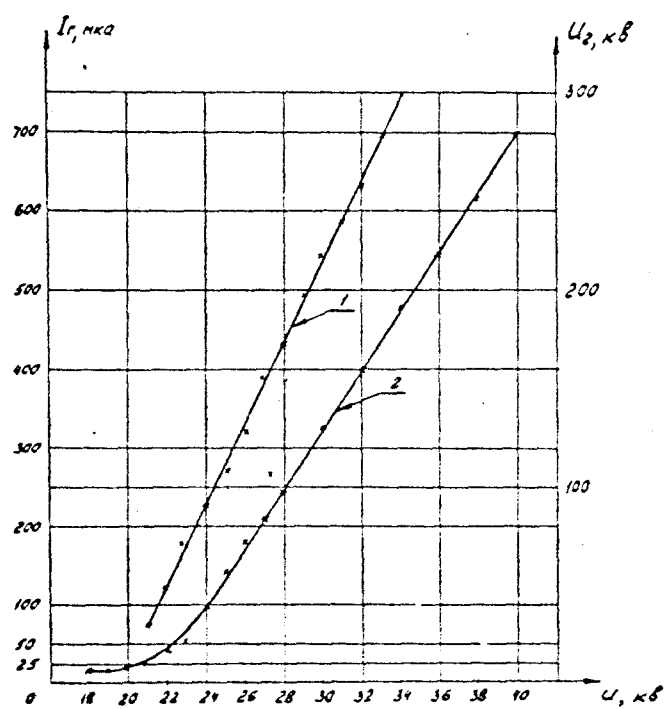


Fig. 6. Caractéristiques en charge et caractéristiques en court-circuit d'un modèle PЭГ-Ц-300, pour une pression de 8 atu dans le réservoir.

1. Dépendance de la tension de sortie ( $U_2$ ) de la tension d'excitation; coefficient d'échauffement  $R = 1500 \text{ m}\Omega$
2. Dépendance du courant  $I_r$  de la tension d'excitation

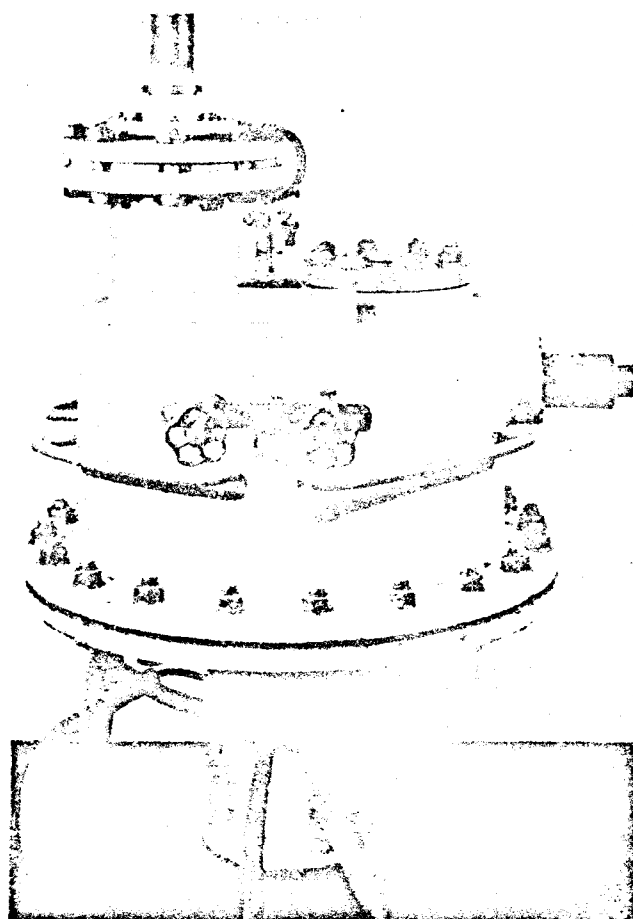


Fig. 7. Vue d'ensemble d'un générateur du type **РЭГ.Д-300** avec la sortie du câble haute tension et l'entrée latérale de la tension d'excitation.