

NEUTRÓNOVÉ GENERÁTORY

V tabuľke I. sú uvedené základné charakteristiky v súčasnej dobe vyrábaných neutrónových generátorov.

Francúzske generátory

Francúzska firma SODERN má dlhoročnú tradíciu vo vývoji neutrónových generátorov pre francúzsky vojenský jadrový program a sériovo vyrába neutrónové generátory GENIE 16 a GENIE 36. Touto firmou bol vyvinutý aj výkonný neutrónový generátor GENIE 46. Bol vyrobený prototyp a pravdepodobne nedošlo k sériovej výrobe.

Generátor GENIE 16 bol vyvíjaný ako prenosný laboratórny prístroj s uzavretou neutrónovou trubicou pre použitie v rôznych oblastiach, napr. pri kontrole batožín na prítomnosť narkotických, výbušných alebo štiepných materiálov a taktiež na prieskum a hľadanie mínových náloží v poľných podmienkach. Je kompaktný, spolu s riadiacim blokom váži 15 kg (bez káblov) a jeho spotreba je 100 W. Generátor je možné napájať z akumulátorových batérií s napätím 9 alebo 18 V. Môže byť diaľkovo riadený pomocou počítača. Jeho cena je 85 000 EUR.

Tab. I. Základné charakteristiky vyrábaných neutrónových generátorov

Typ	811A, USA	A-711, USA	GENIE-16 Fr.	GENIE-36 Fr.	GENIE- 46, Fr.	ING-07, RF	ING-03 RF
Q (n/s), 14 MeV	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{10}$
Dĺžka imp.(μ s)	10-1000	Kontinuálne	Min. 30	Min. 30	80	10-200	0,8
Frekvencia, (Hz)	10^2 - $1,5 \cdot 10^4$	-	Konti- nuálne, 10 - $2 \cdot 10^4$	10 - 10^4	5000	10^3 - $2 \cdot 10^4$	1 - 10^3
Počet hodín, (imp.)	500	200	2000	1000	1000	500- 1000	(10^7)
Rozmery trubice (mm)	89x490	259x610	115x715	150x865	440x920	190x440	130x950
Váha trubice	7,3 kg	-	8 kg	30 kg	58 kg	10 kg	12 kg

Generátor GENIE 36 je výkonný zdroj 14 MeV neutrónov, ktorý pri emisii neutrónov $2 \cdot 10^9$ s⁻¹ môže pracovať až 1000 hodín. Dodržiavanie garantovaného počtu hodín si počas prevádzky vyžaduje vymeniť niekoľkokrát neutrónovú trubicu. Výmenná operácia je zahrnutá do kúpnej ceny, ktorá je vysoká (250 000 EUR). Obr. 1 dokumentuje, že tento typ generátora patrí do skupiny stacionárnych neutrónových zdrojov. Niekoľko svetových laboratórií a firiem (BNL, CLA, COGEMA a JAERI) prevádzkuje tento typ generátora a využíva ho hlavne na kontrolu transuránov v rádioaktívnych odpadoch, resp. na modelové experimenty s transmutáciou rádioaktívneho odpadu.



Obr. 1. Celkový pohľad na neutrónový generátor GENIE 36.



Ruské prenosné neutrónové generátory

Neutrónové generátory sú sériovo vyrábané vo Všeruskom vedeckovýskumnom ústave automatizácie v Moskve. Ústav má dlhoročnú tradíciu vo vývoji neutrónových generátorov používaných v Sovietskom zväze hlavne pre vojenské účely, ako iniciujúci neutrónový zdroj jadrových zbraní. Zariadenia takéhoto druhu museli spĺňať vysoké kritéria spoľahlivosti a charakter ústavu dáva záruku, že dodávané generátory sú kvalitné. V 90. rokoch minulého storočia v rámci konverzie vojenskej výroby ústav sa zamerlal na vývoj a výrobu širokej škály najmä prenosných neutrónových generátorov. Tieto sa používajú v priemysle (neutrónová

aktivačná analýza) a pri geologickom prieskume v rôznych krajinách sveta (Rusko, Čína, USA, V. Británia).

V poslednej dobe prebieha vývoj metodiky na kontrolu nedovoleného transportu výbušnín a štiepneho materiálu. Prevažná väčšina generátorov pracuje s uzavretými vákuovými trubicami, alebo uzavretými plynom plnenými trubicami so studenou alebo horúcou katódou a patria do skupiny tzv. prenosných neutrónových generátorov. Vo vývoji sú aj plazmatrónové iónové zdroje umožňujúce získavať nanosekundové vysoko intenzívne neutrónové impulzy.

Pre účely neutrónovej rádiografie sa ako najvhodnejší javí ING-07.



Obr.3 Celkový pohľad na ING-07

Neutrónový generátor ING-07 pozostáva z týchto blokov (obr.3):

1. emitora neutrónov. V závislosti od použitého terčika (T alebo D) sú emitované neutróny s energiou 14 MeV, pri reakcii $T(d,n)^4\text{He}$ alebo 2,8 MeV pri reakcii $D(d,n)^3\text{He}$. Pri energii urýchlených deuterónov okolo 200 keV účinný prierez druhej reakcie je o dva rády nižší v porovnaní s prvou reakciou a tým aj výdatnosti zdrojov sú v takom pomere. Pokiaľ sa vyžadujú intenzívne neutrónové zdroje používa sa tríciový terčik. Preto v ďalších častiach budeme uvažovať len tríciový terčik.
2. napájacieho bloku s príkonom do 200 W,
3. riadiaceho pulťu.

Emitor neutrónov konštrukčne tvorí jeden hermeticky uzavretý celok, obsahujúci plynom plnenú trubicu s tríciovým terčikom, vysokonapäťový transformátor, fotonásobič a monitor neutrónového toku. Na chladenie terčika a tiež ako izolačný materiál je použitý transformátorový olej. Blok emitora neutrónov sa pripája k napájaciemu bloku 5 metrovým káblom. Dĺžka spojovacích káblov medzi napájacím a riadiacim blokom dosahuje 50 metrov.


Najdôležitejšou súčasťou emitového bloku je iónový zdroj. V plynom plnených trubicach, deutérium s prímiesou trícia sa nachádza ako hydrid kovu v cylindrickom bloku, odkiaľ sa uvoľňuje pri jeho ohreve elektrickým prúdom. Ióny deutéria vznikajú v skríženom elektrickom a magnetickom poli, ktorý vytvára súosový permanentný magnet a elektrické pole medzi katódou a anódou (Penningov iónový zdroj). Medzi iónovým zdrojom a terčikom sa prikladá urýchľovacie napätie do 130 kV. Pri dopade urýchlených iónov na terčik prebehne reakcia $T(d,n)^4\text{He}$. Spolu s iónmi deutéria na terčik dopadajú aj ióny trícia. Ich koncentrácia v iónovom zdroji sa vyberá na základe požiadavky kompenzovať vyhárание trícia v terčiku a tak zabezpečiť konštantnú emisiu neutrónov počas doby prevádzky generátora (300 hodín).

Neutrónový generátor je schopný pracovať v kontinuálnom alebo impulznom režime v závislosti od charakteru modulácie napätia podávaného na anódu iónového zdroja. Pokiaľ sa použije neutrónová trubica s horúcou katódou, tak generátor môže pracovať i v impulznom i v kontinuálnom režime, trubice so studenou katódou dovoľujú pracovať buď v jednom, alebo druhom režime.

Neutrónový generátor ING-07 sa môže použiť aj ako zdroj rtg. žiarenia so strednou energiou 80 keV. Pomocou tohto typu rádiografického zdroja je možné získať neutrónogram a aj komplementárny röntgenogram skúmaného objektu.

Generátor ING-07 sa sériovo vyrába viac ako 5 rokov. Orientačne jeho cena sa pohybuje okolo 50 000 USD. Emitorový blok sa na cene podieľa zhruba polovičnou sumou. Výmena iónovej trubice emitového bloku sa musí previesť vo výrobnom závode, cena výmeny dosahuje sumu okolo 15 000 USD.



Návrat z acrobat readera -  (zatvorením okna)
