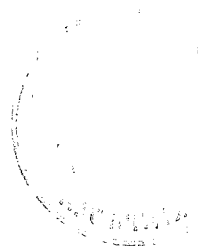


ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡ. ΧΡΥΣΟΧΟΪΔΗ
ΦΥΣΙΚΟΥ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΙΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ
ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΑ

ΕΓΚΡΙΘΕΙΣΑ ΥΠΟ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΟΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑΙ 1960

ND 5702

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡ. ΧΡΥΣΟΧΟΪΔΗ
ΦΥΣΙΚΟΥ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



1 1 1960

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΙΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ
ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΑ

ΕΓΚΡΙΘΕΙΣΑ ΥΠΟ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΟΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑΙ 1960

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ

	σελις
Εξισώσεις διαχύσεως νετρονίων	7
Εξισώσεις κινητικής αντίδρασης λαμβανομένων υπ' όψιν και των καθυστερημένων νετρονίων	8
Εισαγωγή παράγοντος θερμοκρασίας	14
Τελική μορφή των προς εξομοίωσιν εξισώσεων	18
Εξομοίωσις	20

2 ΤΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Υπολογισμός των διαφόρων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και θερμάτων	21
Υπολογισμός του I_1	21
Υπολογισμός του I_2	24
Υπολογισμός του $I_{3δ}$	24
Υπολογισμός του I_4	26
Πηγή νετρονίων	32
Κύκλωμα ενισχυτοῦ -- δλοκληρώσεως	32
Προσδιορισμός των διαφόρων σταθερῶν τοῦ κυκλώματος	34
Υπολογισμός κυκλώματος περιόδου	42

3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

5 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΙΣ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρων δκ	48
Βαθμονόμησις ὀργάνου ισχύος	50
Βαθμονόμησις ὀργάνου θερμοκρασίας	51
Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρου ροῆς ψυκτικοῦ	53
Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρου Δα	53
Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρου πηγῆς	54

Βαθμονόμησης όργανου περιόδου 54

6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Άπότομος μεταβολή δk δια πολύ μικράν άπαγωγήν θερμότητος 55

Όμαλή μεταβολή του δk 56

Άπότομος μεταβολή δk δια κανονικήν άπαγωγήν θερμότητος 56

Άπότομος μεταβολή δk δια $\alpha=0$, $\alpha > 0$, $\alpha < 0$ 57

7 ΣΥΓΚΡΙΣΙΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΤΗΣ

58

8 ΣΥΓΚΡΙΣΙΣ ΠΡΟΣ ΆΛΛΟΥΣ ΕΞΟΜΟΙΩΤΑΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

60

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἡ τεχνική τῶν ἀναλογικῶν ἠλεκτρονικῶν ὑπολογιστῶν ἀνεπτύχθη εἰς μέγαν βαθμὸν κατὰ τὴν τελευταίαν δεκαετίαν καὶ ἀποσκοπεῖ εἰς τὴν κατασκευὴν συσκευῶν, διὰ τῶν ὁποίων λύονται πολὺπλοκα συστήματα διαφορικῶν ἐξισώσεων, μιᾶς ἀνεξαρτήτου μεταβλητῆς, συνήθως τοῦ χρόνου. Διὰ τῶν συσκευῶν αὐτῶν οἱ διάφοροι παράγοντες τῶν ἐξισώσεων παρίστανται διὰ καταλλήλων ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων καὶ αἱ ἄγνωστοι μεταβληταὶ δίδονται ὡς τάσεις ἐξόδου τῶν κυκλωμάτων. Ὁ χρόνος πολλαπλασιάζεται ἐπὶ μίαν σταθερὰν K , ἣ ὁποία δύναται νὰ εἶναι μικρότερα, μεγαλύτερα ἢ ἴση πρὸς τὴν μονάδα.

Εἰς τὴν περίπτωσιν, ὅπου $K=1$, ὁ ἀναπαριστώμενος χρόνος εἶναι ὁ πραγματικὸς χρόνος (βάσις χρόνου πραγματικῆ) καὶ ὁ ἀναλογικὸς ἠλεκτρονικὸς ὑπολογιστὴς καλεῖται ἕξομοιωτής.

Τὴν χοῆσιν ἐνὸς ἕξομοιωτοῦ δυνάμεθα νὰ ἐπεκτείνωμεν καὶ εἰς τὸν ἀντιδραστήρα, ἐπιλύοντες τὰς διαφορικὰς ἐξισώσεις τῆς κινητικῆς αὐτοῦ, εἰς τὰς ὁποίας ὡς ἀνεξάρτητος μεταβλητὴ παρουσιάζεται ὁ χρόνος.

Οὕτω, διὰ τοῦ ἕξομοιωτοῦ ἐνὸς ἀντιδραστήρος δυνάμεθα νὰ παρακολουθήσωμεν πλήρως τὴν συμπεριφορὰν του διὰ συνεχοῦς ἐπιλύσεως τῶν ἐξισώσεων κινητικῆς αὐτοῦ.

Ἡ παροῦσα ἐργασία ἀφορᾷ τὴν ἕξομοίωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρος ἐρεῦνης, ἰσχύος 1ΜW, ὁ ὁποῖος πρόκειται νὰ ἐγκατασταθῇ εἰς τὸ ἐν Ἀγία Παρασκευῇ Πυρηνικὸν Κέντρον.

Καὶ ἄρχῃν γίνεται ἡ μελέτη τῶν ἐξισώσεων κινητικῆς, αἱ ὁποῖαι διέπουν τὸν ἀντιδραστήρα, καὶ κατόπιν εἰσάγεται δι' ἐνὸς ἁπλοῦ ὄρου καὶ ὁ παράγων θερμοκρασία εἰς αὐτάς.

Βάσει τῶν ἐξισώσεων αὐτῶν πραγματοποιεῖται ἡ ἕξομοίωσις τοῦ ἀντιδραστήρος δι' ἁπλῶν γνωστῶν ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων. Ἡ ἕξομοίωσις περιλαμβάνει ὅλα τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ ἀντιδραστήρος, μεταξὺ τῶν ὁποίων

τὴν θερμοκρασίαν, τὴν ροὴν τοῦ ψυκτικοῦ καὶ τὸν συντελεστὴν θερμοκρασίας.

Τὰ ληφθέντα πειραματικὰ ἀποτελέσματα εἶναι τελείως ἱκανοποιητικὰ καὶ συμφωνοῦν ἀπολύτως πρὸς τὰς θεωρητικὰς προβλέψεις διὰ τὴν λειτουργίαν τοῦ πραγματικοῦ ἀντιδραστήρου.

Ὁ παρῶν ἑξομοιωτὴς θὰ χρησιμεύσῃ πρὸς ἐκπαίδευσιν τῶν μελλόντων νὰ χειρισθῶν τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα, τὸν ὁποῖον καὶ ἀναπαριστᾷ, ὥστε νὰ ἀποκτήσουν τὴν ἀπαιτουμένην σχετικὴν πείραν, ἄνευ τοῦ κινδύνου τοῦ προερχομένου ἐκ τῶν ἀναποφεύκτων λαθῶν τὰ ὁποῖα δύνανται νὰ παρουσιασθῶν κατὰ τὸ πρῶτον στάδιον τοῦ χειρισμοῦ.

Ἐπίσης δι' αὐτοῦ θὰ ἐξαχθῶν πολύτιμα συμπεράσματα διὰ τὴν μελλοντικὴν συμπεριφορὰν τοῦ πραγματικοῦ ἀντιδραστήρου, διότι εἰς τὸν ἑξομοιωτὴν δύνανται νὰ πραγματοποιηθῶν οἰαιδήποτε ἐπιθυμηταὶ ἀρχικαὶ συνθήκαι καὶ νὰ ληφθῶν εὐκόλως τὰ ἀντίστοιχα ἀποτελέσματα ἐπὶ τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ πραγματικοῦ ἀντιδραστήρου τὸν ὁποῖον ὁ ἑξομοιωτὴς ἀναπαριστᾷ.

Τὸ κατασκευαστικὸν μέρος τῆς παρούσης ἐργασίας ἐπραγματοποιήθη εἰς τὸ Ἡλεκτρονικὸν Ἐργαστήριον τῆς Ἑλληνικῆς Ἐπιτροπῆς Ἀτομικῆς Ἐνεργείας.

Πρὸς τὸν Σεβαστόν μου καθηγητὴν κ. Κ. Ἀλεξόπουλον ὅστις εἶχε τὴν καλωσύνην νὰ ἀναλάβῃ τὴν εἰσήγησιν τῆς παρούσης ἐργασίας πρὸς τὴν Φυσικαμαθηματικὴν Σχολήν, θεωρῶ καθῆκον μου νὰ ἐκφράσω καὶ ἐντεῦθεν τὰς θερμοτάτας εὐχαριστίας μου.

1. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ

Ἐξισώσεις διαχύσεως νετρονίων

Ἐντὸς ἀντιδραστήρος εὐρισκομένου ἐν λειτουργίᾳ, λαμβάνομεν ὄγκον ἴσον πρὸς dV . Ἡ ἰσορροπία μεταξὺ τῶν νετρονίων τὰ ὁποῖα δημιουργοῦνται καὶ τῶν νετρονίων τὰ ὁποῖα χάνονται εἰς τὸν αὐτὸν χρόνον ἐντὸς τοῦ ὄγκου τούτου δύναται νὰ παρασταθῇ ὑπὸ μιᾶς διαφορικῆς ἐξισώσεως ὡς ἑξῆς:

Παραγωγή νετρονίων — Διαρροή νετρονίων — Ἀπορρόφησις νετρονίων = $\frac{\partial n}{\partial t}$ (1)

Ἐνθα n ἡ πυκνότης τῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV .

Ἡ πυκνότης n εἶναι γενικῶς συνάρτησις τοῦ χρόνου t καὶ τῆς θέσεως τοῦ ὄγκου ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρος, δηλ. $n = f(x, y, z, t)$.

Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν λαμβάνεται ἡ μερικὴ παράγωγος τοῦ n ὡς πρὸς t .

Ὁ ὅρος «παραγωγή νετρονίων» συμβολίζεται διὰ τοῦ S (neutron source) καὶ παριστᾷ τὸν ρυθμὸν τῶν «τροφοδοτούντων» τῶν ὄγκων dV νετρονίων. Τὸ S ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς φύσεως τοῦ ἀντιδραστήρος καὶ ἡ σημασία του θὰ ἀναπτυχθῇ ἀργότερον.

Ὁ ὅρος «διαρροή νετρονίων» συμβολίζεται διὰ τοῦ Le (neutron leakage) καὶ παριστᾷ τὸν ρυθμὸν, μὲ τὸν ὁποῖον τὰ νετρόνια διαρρέουν ἔξω τοῦ ὄγκου dV καὶ εἶναι ἴσος πρὸς:

$$Le = -D \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) = -D \nabla^2 \varphi^*$$

ἔνθα:

D = συντελεστὴς διαχύσεως.

φ , = ροὴ νετρονίων ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV καὶ

* Βλέπε Nuclear Reactor Physics — R. L. Murray σελ. 49

$$\nabla^2 = \text{ὁ γνωστός τελεστής Laplace: } \nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$$

Ὁ ὅρος «ἀπορρόφησης νετρονίων» συμβολίζεται διὰ τοῦ A (neutron absorption) καὶ παριστᾷ τὸν ρυθμὸν ἀπορροφήσεως τῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV, ἰσοῦται δὲ πρὸς A = φΣ_a*.

Ἐνθα Σ_a ὁ μακροσκοπικὸς συντελεστὴς ἀπορροφήσεως τοῦ ὕλικου ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV**.

Ἡ ἔξισωσις λοιπὸν (1) μετασχηματίζεται εἰς τὴν:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = S - Lc - A \quad \eta \quad (2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = S + D\nabla^2\varphi - \varphi\Sigma_a \quad (3)$$

Ἡ διαφορικὴ αὕτη ἔξισωσις, δευτέρου βαθμοῦ, ἐφαρμόζεται μόνον διὰ νετρόνια μιᾶς ἐνεργείας ἢ νετρόνια «ὀμάδος ἐνεργειῶν» ὡς τὰ θερμικὰ νετρόνια***.

Ἡ ἔξισωσις (3) καλεῖται καὶ ἔξισωσις διαχύσεως νετρονίων.

Ἐξισώσεις κινητικῆς ἀντιδραστήρου λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν καὶ τῶν καθυστερημένων νετρονίων

Ἡ ἔξισωσις (3), ἢ ὁποῖα ἰσχύει διὰ νετρόνια μιᾶς ταχύτητος, δύναται διὰ τὴν περίπτωσιν τῶν θερμικῶν νετρονίων νὰ γραφῆι:

*Βλέπε Nuclear Reactor Physics — R. L. Murray σελ. 28.

**Βλέπε: The elements of nuclear reactor theory—Glasstone and Edlund σελ. 45.

***Αἱ ἐνεργεῖαι τῶν ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου ὑπαρχόντων νετρονίων ἀποτελοῦν φάσμα ἐνεργειῶν ἀπὸ ὀλίγων MeV ἕως ἑκατοστῶν τοῦ eV. Ἡ περαιτέρω μελέτη τῶν ἐξισώσεων θὰ ἀφορᾷ θερμικὰ νετρόνια (ἐνεργείας ἑκατοστῶν τοῦ eV), διότι εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν θερμικῶν ἀντιδραστήρων (ὡς εἶναι καὶ ὁ Ἑλληνικὸς Ἀντιδραστήρ) τὰ νετρόνια, τὰ ὁποῖα ἔχουν σημασίαν ἀπὸ ἀπόψεως λειτουργίας τοῦ ἀντιδραστήρου, εἶναι τὰ θερμικὰ, διότι ἡ ἀλυσωτὴ ἀντίδρασις διατηρεῖται κυρίως διὰ θερ-

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = S + D \nabla^2 \varphi - \varphi \Sigma_a \quad (4)$$

ένθα v ή πιθανότερα ταχύτης τών θερμικῶν νετρονίων καί φ ή ροή τών θερμικῶν νετρονίων, δηλαδή $\varphi = n \cdot v$ (n , ὡς προηγουμένως ὠρίσθη, εἶναι ή πυκνότης τών θερμικῶν νετρονίων).

Πρὸς προσδιορισμὸν τοῦ ὄρου S δεόν νά γίνῃ ή ἐξής παρατήρησις: Τά νετρόνια, τὰ ὁποῖα προκύπτουν ἐκ τῆς σχάσεως τοῦ οὐρανίου, δέν ἐκπέμπονται ὅλα ἀμέσως, ἀλλὰ ἐν μέρος αὐτῶν, περίπου 0,75%, ἀργότερον (καθυστερημένα) καί μάλιστα ὄχι ὅλα τὸν αὐτὸν χρόνον ἀλλὰ καθ' ὁμάδας (ἐξ διαφορετικῶν ὁμάδων) εἰς διαφορετικούς χρόνους, ἀπὸ 0,071 sec ἕως 80,2 sec, ἐνῶ τὰ 99, 25% ἐκπέμπονται σχεδὸν ἀμέσως κατὰ τὴν σχάσιν (εἰς 10^{-14} sec περίπου).

Τὰ καθυστερημένα νετρόνια ἐκπέμπονται ἐξ ἀσταθῶν πυρήνων προερχομένων ἐκ τῶν προϊόντων σχάσεως.

Ἐὰν c_i εἶναι ή πυκνότης τῶν πυρήνων αὐτῶν (οἱ ὁποῖοι ἐκπέμπουν καθυστερημένα νετρόνια) ἐντὸς τοῦ ληφθέντος ὄγκου dV (ένθα $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$), τότε ή μεταβολή τῆς συγκεντρώσεως τῶν πυρήνων αὐτῶν εἶναι:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \text{ρυθμὸς παραγωγῆς} - \text{ρυθμὸς διασπάσεως.} \quad (5)$$

Ὁ ρυθμὸς παραγωγῆς τῶν ἐν λόγω πυρήνων ἐντὸς τοῦ dV εὐρίσκεται διὰ τοῦ ἐξῆς συλλογισμοῦ.

Ὁ ρυθμὸς τῶν ἀπορροφουμένων θερμικῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ dV εἶναι, ὡς ἐλέχθη, ἴσος πρὸς $\varphi \Sigma_a$ καί ὁ ρυθμὸς τῶν ἀντιστοίχως προκυπτόντων θερμικῶν νετρονίων ἐκ σχάσεως εἶναι $k \varphi \Sigma_a^*$, ένθα $k = \delta$ πολλαπλασιαστικὸς παράγων διὰ μέσον ἀπείρων διαστάσεων.

Ἐὰν β_i εἶναι τὸ κλάσμα ἐκ τοῦ ὅλικου ἀριθμοῦ τῶν νετρονίων, τὰ ὁποῖα ἐκπέμπονται καθυστερημένα καί τὰ ὁποῖα ἀνήκουν εἰς τὴν ἰσοτὴν ὁμάδα, ὁ ρυθμὸς τῶν παραγομένων πυρήνων ἐντὸς τοῦ dV , οἱ ὁποῖοι θὰ ἐκπέμπουν καθυστερημένα νετρόνια, εἶναι: $\beta_i k \varphi \Sigma_a$.

μικῶν νετρονίων. Τὰ θερμικὰ νετρόνια χαρακτηρίζονται ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι αἱ ταχύτητές των ἀκολουθοῦν κατανομήν κατὰ Maxwell ὡς ἀκριθῶς καί τὰ μόρια ἀερίου. Τοιούτοτρόπως δύναται νά ὀρισθῇ ή «πιθανότερα ταχύτης», ή ὁποία διὰ συνήθη θερμοκρασίαν δωματίου εἶναι 2200m/sec (ή δὲ ἀντίστοιχος ἐνέργεια 0,025eV). Ἡ ταχύτης αὕτη λαμβάνεται ὡς ἀντιπροσωπευτική ταχύτης τῶν νετρονίων κατὰ τὴν μελέτην τῶν ἐξισώσεων διὰ θερμικῶν νετρονίων.

*Βλέπε: Nuclear Reactor Engineering-S. Glasstone σελ. 168.

Ἐπίσης ἐὰν $\lambda_i \text{ sec}^{-1}$ εἶναι ἡ σταθερὰ διασπάσεως τῶν πυρήνων τῆς i -οῦσῆς ομάδος, τότε $c_i \lambda_i$ εἶναι ὁ ρυθμὸς τῆς διασπάσεως τῶν πυρήνων τούτων. Οὕτω ἡ ἐξίσωσις (5) γράφεται:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = k\beta_i \varphi \Sigma_a - \lambda_i c_i \quad (6)$$

Ἡ μερική παράγωγος δικαιολογεῖται πάλιν ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι τὸ c_i εἶναι συνάρτησις τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου, δηλ. $c_i = f(x, y, z, t)$ καὶ εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν λαμβάνεται ἡ μεταβολὴ αὐτοῦ μόνον ὡς πρὸς τὸν χρόνον διὰ δεδομένην περιοχὴν τοῦ χώρου.

Κατόπιν τούτων ὁ ὅρος S προσδιορίζεται ὡς ἑξῆς:

$S = S_a + S_x =$ Ρυθμὸς ἀμέσως δημιουργουμένων θερμικῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ dV + ρυθμὸς καθυστερημένων θερμικῶν νετρονίων δημιουργουμένων ἐντὸς τοῦ dV . (7)

Ἐφ' ὅσον β_i εἶναι τὸ ποσοστὸν τῶν καθυστερημένων νετρονίων ἐκαστῆς ομάδος, τὸ $\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i$ παριστᾷ τὸ ποσοστὸν ὄλων τῶν καθυστερημένων νετρονίων καὶ $1 - \beta$ τὸ κλάσμα τῶν ἐκ τῆς σχάσεως ἀμέσως προερχομένων νετρονίων.

Ὁ ρυθμὸς τῶν θερμικῶν νετρονίων τῶν προκυπτόντων ἐκ τῆς σχάσεως εἰς μέσον ἀπέριον διαστάσεων εἶναι $k\varphi \Sigma_a$ καὶ ἂν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν καὶ τὸν παράγοντα μὴ διαρροῆς $e^{-B^2\tau}$ κατὰ τὴν ἐλάττωσιν τῆς ταχύτητος ἐκ ταχέων νετρονίων εἰς θερμικά, ἔχομεν τελικῶς $k\varphi \Sigma_a e^{-B^2\tau}$ ἔνθα B^2 ἡ καμπύλωσις (buckling) τοῦ ἀντιδραστήρος καὶ τ ἡ νετρονική ἡλικία Fermi (Fermi age) τοῦ ἀντιδραστήρος.

Ἡ ποσότης αὕτη ἀφορᾷ καὶ τὰς δύο κατηγορίας νετρονίων καὶ ἂν πολλαπλασιάσωμεν ἐπὶ $1 - \beta$, ἔχομεν:

$$S_a = (1 - \beta)k\varphi \Sigma_a e^{-B^2\tau}$$

Ὁ ρυθμὸς τῆς παραγωγῆς καθυστερημένων νετρονίων οἰασδήποτε ομάδος εἶναι ἴσος πρὸς τὸν ρυθμὸν διασπάσεως τῶν πυρήνων τῶν ἐκπεμπόντων τὰ καθυστερημένα νετρόνια (δεδομένου ὅτι ἕκαστος τοιοῦτος πυρὴν ἐκπέμπει ἓν νετρόνιον), δηλαδή ἴσος πρὸς $\lambda_i c_i$ καὶ ὁ ρυθμὸς παραγωγῆς ὄλων τῶν καθυστερημένων νετρονίων $= \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$.

Ἡ ποσότης αὕτη πολλαπλασιαζομένη ἐπὶ τὴν «πιθανότητα μὴ διαρροῆς» κατὰ τὴν ἐλάττωσιν τῆς ταχύτητος τῶν νετρονίων ἐκ ταχέων εἰς θερμικά μᾶς δίδει τὸν ἀριθμὸν τῶν παραγομένων καθυστερημένων θερμικῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ λειφθέντος ὄγκου dV , δηλαδή $S_x = e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$

Ούτω ή εξίσωσις (7) γίνεται:

$$S = (1 - \beta)k\varphi \Sigma_a e^{-B^2\tau} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i \quad (8)$$

αντικαθιστώντες δὲ τὴν τιμὴν ταύτην τοῦ S εἰς τὴν (4) ἔχομεν:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = DV^2 \varphi - \varphi \Sigma_a + (1 - \beta)k\varphi \Sigma_a e^{-B^2\tau} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i \quad (9)$$

Εἰς τὴν ἐξίσωσιν ταύτην τὸ $\nabla^2 \varphi$ δύναται νὰ αντικατασταθῇ ὑπὸ τοῦ $-B^2 \varphi$ διότι, ἐὰν ὑποτεθῇ, ὅτι τὸ k παραμένει σταθερὸν, ὅτι ὁ ἀντιδραστήρ εὐρίσκεται πλησίον τῶν συνθηκῶν κρισιμότητος καὶ ὅτι ἡ μορφὴ τῆς κατανομῆς τῆς ροῆς τῶν νετρονίων παραμένει ἡ αὐτὴ ἀνεξαρτήτως τοῦ ἐὰν ἡ τιμὴ τῆς ἀξιάνης μετὰ τοῦ χρόνου, τότε $\nabla^2 \varphi + B^2 \varphi = 0^*$

Ἐπομένως ἡ (9) γίνεται:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -DB^2 \varphi - \varphi \Sigma_a + (1 - \beta)k\varphi \Sigma_a e^{-B^2\tau} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

ἢ διαιροῦντες διὰ Σ_a :

$$\frac{1}{v \Sigma_a} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\frac{DB^2 \varphi}{\Sigma_a} - \varphi + (1 - \beta)k\varphi e^{-B^2\tau} + \frac{e^{-B^2\tau}}{\Sigma_a} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

καὶ αντικαθιστώντες τὸ $\frac{D}{\Sigma_a}$ διὰ τοῦ L^{2**} , ἔνθα L τὸ μῆκος διαχύσεως τῶν νετρονίων:

$$\frac{1}{v \Sigma_a} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -L^2 B^2 \varphi - \varphi + (1 - \beta)k\varphi e^{-B^2\tau} + \frac{e^{-B^2\tau}}{\Sigma_a} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

ἢ αντικαθιστώντες τὸ φ διὰ τοῦ n καὶ διαιροῦντες ἀμφότερα τὰ μέλη διὰ v :

$$\frac{1}{v \Sigma_a} \frac{\partial n}{\partial t} = -(L^2 B^2 + 1)n + (1 - \beta)kne^{-B^2\tau} + \frac{e^{-B^2\tau}}{v \Sigma_a} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

ἢ αντικαθιστώντες τὸ $\frac{1}{v \Sigma_a}$ διὰ τοῦ l_0^{***} καὶ διαιροῦντες ἀμφότερα τὰ μέλη διὰ l_0 , ἔνθα l_0 ὁ μέσος χρόνος διαχύσεως τῶν θερμικῶν νετρονίων ἐν-

* Βλέπε: Nuclear Reactor Engineering, — S. Glasstone, σελ. 227.

** Βλέπε: » » » » σελ. 143

*** Βλέπε: » » » » σελ. 167.

τὸς ἀντιδραστήρος ἀπείρων διαστάσεων, δηλ. ὁ μέσος χρόνος ἀπὸ τὴν στιγμὴν τῆς παραγωγῆς ἕως τὴν στιγμὴν τῆς ἀπορροφῆσεως τῶν νετρονίων:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\left(\frac{L^2 B^2 + 1}{l_0}\right)n + \frac{(1-\beta)kn e^{-B^2\tau}}{l_0} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

ἢ λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι:

$$\frac{l_0}{L^2 B^2 + 1} = 1 \quad (10)$$

ἔνθα 1 ὁ μέσος χρόνος διαχύσεως τῶν θερμικῶν νετρονίων ἐντὸς ἀντιδραστήρος πεπερασμένων γεωμετρικῶν διαστάσεων:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n}{l} + \frac{(1-\beta)kn e^{-B^2\tau}}{l_0} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

$$\text{Λαμβάνοντες δὲ ὑπ' ὄψιν τὴν ἐξίσωσιν: } k_{\text{eff}} = \frac{ke^{-B^2\tau}}{1+B^2L^2} \quad (11)$$

(ἔνθα k_{eff} εἶναι ὁ πολλαπλασιαστικὸς παράγων δι' ἀντιδραστήρα πεπερασμένων γεωμετρικῶν διαστάσεων καὶ ὁ ὁποῖος εἶναι μικρότερος τοῦ k , διότι λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν καὶ τὰ νετρόνια τὰ διαρρέοντα ἐκ τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρος λόγω τοῦ πεπερασμένου τοῦ ὄγκου), καθὼς καὶ τὴν ἐξίσωσιν (10) ἔχομεν:

$$\frac{ke^{-B^2\tau}}{l_0} = \frac{k_{\text{eff}}}{l} \quad (12)$$

καὶ ἀντικαθιστώντες εἰς τὴν τελευταίαν ἐξίσωσιν ἔχομεν:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n}{l} + (1-\beta) \frac{k_{\text{eff}}n}{l} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i \quad \text{ἢ}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = (k_{\text{eff}} - 1) \frac{n}{l} - \frac{\beta k_{\text{eff}}n}{l} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

Ἐὰν δὲ θέσωμεν $k_{\text{eff}} - 1 = \delta k$, ἔχομεν:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\delta k n}{l} - \frac{\beta k_{\text{eff}}n}{l} + e^{-B^2\tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i$$

ἔνθα δk ἡ δραστικότης τοῦ ἀντιδραστήρος, μέγεθος τὸ ὁποῖον δηλοῖ κατὰ

* Βλέπε: Nuclear Reactor Engineering — S. Glasstone, σελ. 176.

πρόσον ὁ ἀντιδραστήρ εὐρίσκεται μακρὰν τῆς συνθήκης κρσιμότητος.

Ἐάν δέ ληφθῆ ὑπ' ὄψιν ὅτι τὸ $k_{\text{eff}} \simeq 1$, λόγῳ τοῦ ὅτι ὁ ἀντιδραστήρ εὐρίσκεται πλησίον τῆς κρσιμότητος, ἔχομεν τελικῶς:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\delta k n}{1} - \frac{\beta n}{1} + e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i \quad (13)$$

Ἐπίσης τὴν ἐξίσωσιν (6) δυνάμεθα νὰ μετασχηματίσωμεν ὡς ἐξῆς:

* Ἀντικαθιστῶντες τὸ φ διὰ $n v$ καὶ τὸ $v \Sigma_a$ διὰ $\frac{1}{l_0}$ λαμβάνομεν:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{k \beta_i n}{l_0} - \lambda_i c_i$$

Ἐπίσης ἐκ τῆς (12) ἔχομεν: $\frac{k}{l_0} = \frac{k_{\text{eff}}}{l e^{-B^2 \tau}}$ καὶ ἀντικαθιστῶντες:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{k_{\text{eff}} \beta_i n}{l e^{-B^2 \tau}} - \lambda_i c_i \quad (14)$$

Ἐπειδὴ δὲ αἱ συνθῆκαι λαμβάνονται πλησίον τοῦ κρσιμοῦ σημείου $k_{\text{eff}} \simeq 1$,

$$\text{καὶ} \quad \frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{\beta_i n}{l e^{-B^2 \tau}} - \lambda_i c_i \quad (15)$$

Ἡ πυκνότης n καθὼς καὶ ἡ ροὴ φ τῶν θερμικῶν νετρονίων, ὡς ἐλέχθη, εἶναι συνάρτησις τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου.

Ἡ μεταβολὴ βεβαίως τῶν n καὶ φ συναρτῆσει τῆς θέσεως ἐντὸς τῆς καρδίας εἶναι προφανής, λόγῳ τοῦ ὅτι αἱ διαστάσεις τῆς καρδίας εἶναι πεπερασμένα καὶ τὰ n καὶ φ εἶναι μικρότερα εἰς τὰ ἄκρα τῆς καρδίας καὶ μεγαλύτερα εἰς τὸ κέντρον, διότι ἡ διαρροὴ νετρονίων εἰς τὰ ἄκρα εἶναι μεγαλύτερα.

Δυνάμεθα ὅμως νὰ θεωρήσωμεν ὅτι τὰ n καὶ φ εἶναι ἀνεξάρτητα τῆς θέσεως ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρος, ἐὰν υποθέσωμεν ὅτι τὰ n καὶ φ παριστοῦν ἀντιστοίχως τὴν μέσην πυκνότητα καὶ τὴν μέσην ροὴν ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρος, ὅποτε βεβαίως θὰ εἶναι τὰ αὐτὰ διὰ κάθε σημείον αὐτοῦ.

Λιὰ τῆς παραδοχῆς αὐτῆς, ὁμοῦ μετὰ τῆς παραδοχῆς, ἡ ὁποία ἐγένετο εἰς προηγούμενον σημείον, ὅτι ἡ ταχύτης v τῶν νετρονίων ἐλήφθη σταθερὰ

(θεωρία μιᾶς ομάδος) ἡ μελέτη τῆς κινητικῆς τοῦ ἀντιδραστῆρος ἀπλοποιεῖται σημαντικώτατα καὶ ἡ κατασκευὴ ἠλεκτρονικοῦ ἑξομοιωτοῦ καθίσταται δυνατή, χωρὶς ἡ ἀπλοποίησις αὕτη νὰ εἶναι εἰς βᾶρος τῆς ποιοτικῆς μελέτης τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ἀντιδραστῆρος, ὡς θὰ γίνῃ ἐμφανὲς ἀργότερον.

Κατόπιν αὐτῆς τῆς νέας παραδοχῆς, ἡ μερική παράγωγος τοῦ n ὡς πρὸς t δύναται νὰ ἀντικατασταθῇ ὑπὸ τῆς ὁλικῆς παραγωγῆς, διότι τὸ n θὰ εἶναι πλέον συνάρτησις μόνον τοῦ χρόνου. Τὸ αὐτὸ ἰσχύει καὶ διὰ τὸ c_i , τὸ ὁποῖον δύναται νὰ θεωρηθῇ πλέον συνάρτησις μόνον τοῦ χρόνου.

Τελικῶς λοιπὸν αἱ ἐξισώσεις (13) καὶ (15) γράφονται ὡς ἑξῆς:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k n}{1} - \frac{\beta n}{1} + e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i \quad (16)$$

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{\beta_i n}{1 e^{-B^2 \tau}} - \lambda_i c_i \quad (17)$$

Εἰσαγωγή παράγοντος θερμοκρασίας*

Αἱ ἀνωτέρω γραμμικαὶ διαφορικαὶ ἐξισώσεις πρώτης τάξεως, ἀποτελοῦν κατὰ πρώτην προσέγγισιν τὰς ἐξισώσεις κινητικῆς ἀντιδραστῆρος καὶ παριστοῦν τὴν μεταβολὴν τῆς συγκεντρώσεως τῶν θερμοικῶν νετρονίων συναρτήσῃ τοῦ χρόνου ἐντὸς ὄγκου dV εἰς τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστῆρος, ἡ ὁποία ὀφείλεται εἰς μεταβολὰς τοῦ δk . Αἱ μεταβολαὶ τοῦ δk ἐπιτυγχάνονται κυρίως δι' εἰσαγωγῆς ἢ ἐξαγωγῆς τῶν ράβδων ἐλέγχου ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστῆρος.

Ἐκτὸς ὅμως τῶν ράβδων ἐλέγχου ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι παράγοντες οἱ ὁποῖοι ἐπιδροῦν κατὰ μικρότερον ποσοστὸν ἐπὶ τῆς δραστικότητος ἐνὸς ἀντιδραστῆρος.

Τοιοῦτοι παράγοντες εἶναι π. χ. ἡ θερμοκρασία καὶ τὰ ἐκ τῆς σχέσεως προερχόμενα προϊόντα σχέσεως.

Ἡ ἐπίδρασις τῶν προϊόντων σχέσεως συνίσταται εἰς τὸ ὅτι ὠρισμένα ἐκ τῶν σχηματιζομένων προϊόντων σχέσεως ὡς Xe καὶ Sn παρουσιάζουν μεγάλην πυρηνικὴν διατομὴν ἀπορροφῆσεως νετρονίων καὶ τοιουτοτρόπως

* Βλέπε καὶ γενικὴν βιβλιογραφίαν [5], [7], [15], [24], [32], [34].

δροῦν ὡς ἀπορροφητικὰ ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου (δηλητήρια). Ἡ μεταβολὴ ὅμως τῆς συγκεντρώσεως τῶν ἀπορροφητικῶν αὐτῶν ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου εἶναι λίαν βραδεῖα καὶ μένει ἀνεπηρέαστος κατὰ τὰς ἀποτόμους μεταβολὰς τῆς ἰσχύος.

Ἐπίσης ἡ μεγίστη δυνατὴ ἐπίδρασις ἐπὶ τῆς δραστικότητος τοῦ ἀντιδραστήρου κατὰ τὴν λειτουργίαν αὐτοῦ καὶ δι' ἀντιδραστήρια λίαν ὑψηλῆς ροῆς τοῦ μὲν X_c εἶναι περίπου 0,05 δκ, τοῦ δὲ S_{in} εἶναι περίπου 0,04 δκ. Εἰς τοὺς συνήθεις βεβαίως πειραματικοὺς ἀντιδραστήρας, ὡς ὁ Ἑλληνικός, ἡ ἐπίδρασις των εἶναι κατὰ πολὺ μικροτέρα καὶ ἡ σημασία των ἀπὸ ἀπόψεως ἑξομοιώσεως δὲν εἶναι μεγάλη.

Ἐπίσης δὲν εἶναι πρακτικὸν νὰ γίνῃ «ἑξομοίωσις» τῆς συμπεριφορᾶς αὐτῶν λόγῳ τοῦ μεγάλου χρόνου, ὁ ὁποῖος ἀπαιτεῖται διὰ τὴν παρατήρησιν τῆς ἐπιδράσεώς των.

Ἀντιθέτως ἡ ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τοῦ δκ παρουσιάζει ἰδιαιτέρον ἐνδιαφέρον, λόγῳ τῆς ἀμέσου ἐπιδράσεως, τὴν ὁποίαν ἔχει ἡ μεταβολὴ τῆς ἰσχύος ἐπὶ τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας καὶ ἐν συνεχείᾳ ἐπὶ τῆς δραστικότητος δκ τοῦ ἀντιδραστήρου.

Ἡ κατάδειξις τῆς ἐπιδράσεως τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τοῦ δκ καὶ ἐν συνεχείᾳ ἐπὶ τῶν ἑξισώσεων τῆς κινητικῆς τοῦ ἀντιδραστήρου καὶ ἡ περαιτέρω «ἑξομοίωσις» τοῦ παράγοντος αὐτοῦ, προσηρμοσμένου ἰδιαιτέρως εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου, ἀναφέρεται κατωτέρω. Τὰ δὲ ληφθέντα πειραματικὰ ἀποτελέσματα διὰ τοῦ κατασκευασθέντος ἠλεκτρονικοῦ ἑξομοιωτοῦ, ἀποδεικνύουν τὴν πλήρη ἀντιἀπόκρισιν των πρὸς τὰ ἀντίστοιχα πειραματικὰ ἀποτελέσματα τὰ ληφθέντα ἀπὸ πραγματικὸν ἀντιδραστήρα τύπου παρομοίου πρὸς τὸν Ἑλληνικόν.

Ἡ θερμοκρασία εἰς τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστήρου αὐξάνει δι' αὐξήσεως τῆς στάθμης ἰσχύος λειτουργίας. Ἐπίσης μεταβάλλεται καὶ διὰ μεταβολῆς τῆς ροῆς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, τὸ ὁποῖον, ἀπάγει τὴν θερμότητα ἐκ τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου. Ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου ἐπιδρᾷ ἐπὶ τῆς δραστικότητος τοῦ ἀντιδραστήρου διὰ δύο κυρίως λόγους:

α) Διότι ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας εἰς τὴν καρδίαν μεταβάλλει τὴν «θερμοκρασίαν» (ἐνέργειαν) τῶν θερμικῶν νετρονίων καὶ τοιουτοτρόπως ἡ πυρηνικὴ διατομὴ τῶν διαφόρων ἀπορροφητικῶν διὰ τὰ θερμικὰ νετρόνια μεταβάλλεται.

β) Διότι ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας εἰς τὴν καρδίαν ἐπιφέρει ἀντιστοίχους μεταβολὰς εἰς τὸ μῆκος διαχύσεως τῶν θερμικῶν νετρονίων καὶ εἰς τὴν πιθανότητα μὴ διαφυγῆς τῶν νετρονίων, δεδομένου ὅτι ἀμφότερα εἶναι συναρτήσεις τῆς πυκνότητος τοῦ μέσου.

Ἡ ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τοῦ k_{eff} δύναται νὰ παρασταθῇ

δι' ἑνὸς συντελεστοῦ καλουμένου *συντελεστοῦ θερμοκρασίας*.

$$\alpha = \frac{dk_{\text{eff}}}{d\Theta} \quad (18)$$

ἐνθα Θ ἡ θερμοκρασία.

Ἐκ τῆς ἐξισώσεως ταύτης ἐμφαίνεται, ὅτι ὠρισμένη μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας κατὰ $\Delta\Theta$ θὰ εἰσάγῃ εἰς τὸν ἀντιδραστήρα ἀντίστοιχον θετικὴν ἢ ἀρνητικὴν δραστηκότητα (ἐξαρτωμένην ἐκ τοῦ σημείου τοῦ α) ἴσην πρὸς

$$\delta k_{\Theta} = \alpha \Delta\Theta \quad (19)$$

Ἀντιδραστήρες, εἰς τοὺς ὁποίους ὁ συντελεστὴς θερμοκρασίας εἶναι ἀρνητικὸς, εἶναι «εὐσταθεῖς», παρουσιάζουν δηλαδὴ μίαν αὐτοσφάλειαν ἐναντι αὐξήσεως τῆς θερμοκρασίας, διότι ὅσον αὐξάνει ἡ θερμοκρασία, τόσον μεγαλύτερα ἀρνητικὴ δραστηκότης εἰσάγεται (ἐξίσωσις 19).

Ἀντιθέτως, ἀντιδραστήρες μὲ θετικὸν συντελεστὴν θερμοκρασίας εἶναι «ἀσταθεῖς», διότι ὅσον αὐξάνει ἡ θερμοκρασία τόσον αὐξάνει καὶ ἡ εἰσαγομένη θετικὴ δραστηκότης (ἐξίσωσις 19), πρᾶγμα τὸ ὁποῖον σημαίνει αὐξήσιν τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρος καὶ ἐπομένως νέαν αὐξήσιν τῆς θερμοκρασίας, εἰσαγωγὴν νέας θετικῆς δραστηκότητος κ.ο.κ.

Ἡ ἐπίδρασις τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς μεταβολῆς τῆς πυκνότητος τῶν νετρονίων τοῦ ἀντιδραστήρος εὐρίσκεται ὡς ἑξῆς: Ἵποθείστω ὅτι λόγῳ μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας κατὰ $\Delta\Theta$ εἰσάγεται εἰς τὸν ἀντιδραστήρα ἀντίστοιχος μεταβολὴ τῆς δραστηκότητος $\delta k_{\Theta} = \alpha \Delta\Theta$ (συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 19). Ἡ μεταβολὴ τῆς πυκνότητος n τῶν νετρονίων ἀνὰ «γενεὰν νετρονίων» λόγῳ τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας, θὰ εἶναι $\delta k_{\Theta} n$. Ἐὰν δὲ l εἶναι ὁ χρόνος μεταξὺ δύο γενεῶν εἰς sec , τότε ὁ ρυθμὸς τῆς μεταβολῆς τοῦ ἀριθμοῦ τῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ δοθέντος ὄγκου dV θὰ ἰσοῦται πρὸς:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k_{\Theta} n}{l} = \frac{\alpha \Delta\Theta n}{l} \quad (20)$$

Ἡ ἐπίδρασις λοιπὸν τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς ὀλικῆς μεταβολῆς τῆς πυκνότητος τῶν νετρονίων παρίσταται διὰ προσθέσεως τοῦ δευτέρου μέλους τῆς ἐξισώσεως (20) εἰς τὴν ἐξίσωσιν (15), ὁπότε ἔχομεν:

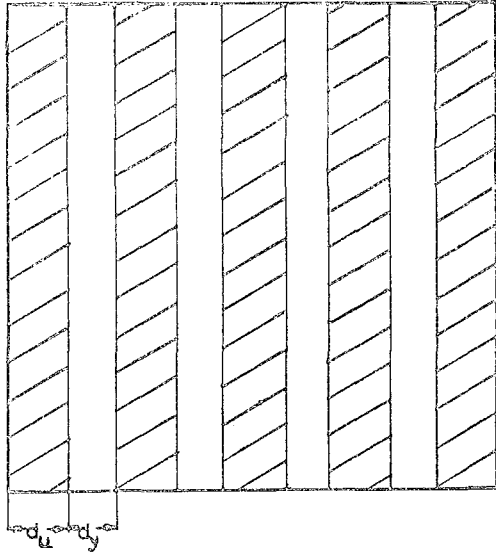
$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta kn}{l} - \frac{\beta n}{l} + e^{-\mu^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i + \frac{\alpha \Delta\Theta n}{l} \quad (21)$$

Ἡ θερμότης, ἥ ὁποία δημιουργεῖται εἰς τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστήρου, ἀπάγεται δι' εἰδικοῦ συστήματος ἀπαγωγῆς θερμότητος, ὅποτε ἡ ἀνύψωσις τῆς θερμοκρασίας τῆς καρδίας δὲν φθάνει εἰς ἐπικίνδυνον βαθμόν, διότι τότε θὰ ὑπῆρχε κίνδυνος τήξεως τῶν καυσίμων στοιχείων.

Πρὸς κατὰστροφὴν τῆς ἐξισώσεως ἀνταλλαγῆς τῶν ποσοτήτων θερμότητος μεταξὺ καυσίμων στοιχείων καὶ ψυκτικοῦ λαμβάνομεν πάλιν τὸ ὄγκον dV ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου.

Τὸ σχ. 1 παριστᾷ τομὴν τοῦ ληφθέντος ὄγκου. Τὰ γραμμοσκιασμένα τμήματα ἀποτελοῦν τὰς πλάκας τοῦ καυσίμου στοιχείου καὶ τὰ λευκὰ τὸ μεταξὺ αὐτῶν διακένον, διὰ τοῦ ὁποίου διέρχεται τὸ ὕδωρ πρὸς ἀπαγωγὴν τῆς θερμότητος.

Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου ἐκάστη πλάξ καυ-



Σχ. 1

Τομὴ ὄγκου dV ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου

d_u = πᾶχος τοῦ καυσίμου στοιχείου

d_y = πᾶχος διακένων.

σίμου στοιχείου ἀποτελεῖται ἐσωτερικῶς ἐξ οὐρανίου καὶ περιβάλλεται ὑπὸ φύλλου ἀλουμινίου. Δυνάμεθα ὅμως διὰ τὴν ἀπλούστευσιν τῶν ὑπολογισμῶν νὰ θεωρήσωμεν ὅτι ἐκάστη πλάξ ἀποτελεῖται ἐκ καυσίμου ὕλικου τῆς αὐτῆς πυκνότητος (μέσος ὅρος πυκνότητος οὐρανίου καὶ ἀλουμινίου) καὶ τῆς αὐτῆς εἰδικῆς θερμότητος (μέσος ὅρος εἰδικῆς θερμότητος οὐρανίου καὶ ἀλουμι-

νίου), δεδομένου μάλιστα ότι η επίδρασις τοῦ ἀλουμινίου εἰς τὸν ὑπολογισμὸν τῶν μέσων ὄρων θὰ εἶναι πολὺ μικρά.

Ἡ ἀνταλλαγὴ θερμότητος μεταξὺ καυσίμων στοιχείων καὶ ψυκτικοῦ δύναται νὰ παρασταθῇ διὰ τῆς κινητικῆς ἐξισώσεως μεταβιβάσεως θερμότητος, κατὰ τὴν ὁποίαν ὁ ρυθμὸς τῆς παραγομένης θερμότητος ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV ἰσοῦται πρὸς τὸν ρυθμὸν τῆς δαπανωμένης θερμότητος πρὸς ἀνύψωσιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος σὺν τῷ ρυθμῷ τῆς ἀπαγομένης θερμότητος, ἥ:

$$q_x = c_x \frac{d\Theta_x}{dt} + \kappa (\Theta_x - \Theta_y) \quad (22)$$

ἔνθα:

q_x = Ὁ ρυθμὸς τῆς ἐκ τῆς σχάσεως παραγομένης θερμότητος ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV τοῦ καυσίμου στοιχείου,

c_x = θερμοχωρητικότης τοῦ ὄγκου dV τοῦ καυσίμου στοιχείου,

Θ_x = θερμοκρασία καυσίμου στοιχείου

Θ_y = θερμοκρασία ψυκτικοῦ,

κ = συντελεστὴς μεταφορᾶς θερμότητος μεταξὺ καυσίμου στοιχείου καὶ ψυκτικοῦ διὰ τὸ ψυκτικὸν τὸ εὗρισκόμενον ἐντὸς τοῦ ὄγκου dV .

Ἡ ἐξίσωσις (22) ἀποτελεῖ τὴν γραμμικὴν διαφορικὴν ἐξίσωσιν, ἣτις περιγράφει δυναμικῶς τὴν μεταβίβασιν θερμότητος μεταξὺ καρδίας ἀντιδραστήρου καὶ ψυκτικοῦ μέσου.

Αἱ ἐξισώσεις κινητικῆς λοιπὸν τοῦ ἀντιδραστήρου εἶναι τελικῶς αἱ ἑξῆς:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta kn}{1} - \frac{\beta n}{1} + e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i + \frac{\alpha \Delta \Theta n}{1} \quad (23)$$

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{\beta_i n}{1 e^{-B^2 \tau}} - \lambda_i c_i \quad (24)$$

$$q_x = c_x \frac{d\Theta_x}{dt} + \kappa (\Theta_x - \Theta_y) \quad (25)$$

Τελικὴ μορφή τῶν πρὸς ἐξομοίωσιν ἐξισώσεων

Κατὰ τὴν μελέτην τῶν ἐξισώσεων αὐτῶν ἐδέχθημεν ὅτι ἡ κατανομή τῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου, τῶν πυρήνων τῶν ἐκπεπόντων τὰ καθυστερημένα νετρόνια καὶ τῆς θερμοκρασίας εἶναι ὁμοιόμορφος εἰς ὅλον τὸν

ὄγκον τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου καὶ ἡ αὐτὴ πρὸς τὴν κατανομὴν τὴν παρουσιαζομένην ἐντὸς τοῦ ληφθέντος ὄγκου dV .

Τοιοιτοτρόπως αἱ ὡς ἄνω ἐξισώσεις θὰ ἰσχύουν δι' οἰονδήποτε dV ἐντὸς τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου. Δυνάμεθα ἐπομένως νὰ ἐπεκτείνωμεν τὰς ἐξισώσεις δι' ὅλον τὸν ὄγκον τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου καὶ ἀντὶ τοῦ n , νὰ θεωρήσωμεν τόν:

N = ὀλικὸς ἀριθμὸς νετρονίων εἰς ὅλην τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστήρου.

Ἀντὶ τοῦ c_i , νὰ θεωρήσωμεν τό:

C_i = ὀλικὸς ἀριθμὸς πυρήνων ἐκπεμπόντων καθυστερημένα νετρόνια ἰσοτῆς ὁμάδος εἰς ὅλην τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστήρου.

Ἀντὶ τοῦ q_x , νὰ θεωρήσωμεν τό:

Q_x = ρυθμὸς παραγομένης ἐκ σχάσεως θερμότητος ἐντὸς τοῦ καυσίμου

Ἀντὶ τοῦ c_x , νὰ θεωρήσωμεν τό:

C_x = ὀλικὴ θερμοχωρητικότης καυσίμου στοιχείου

Καὶ ἀντὶ τοῦ κ , νὰ θεωρήσωμεν τό:

K = συντελεστὴς μεταφορᾶς θερμότητος μεταξὺ καυσίμου στοιχείου καὶ ψυκτικοῦ δι' ὅλην τὴν καρδίαν.

Ὅποτε αἱ ἐξισώσεις (23), (24) καὶ (25) γίνονται ἀντιστοίχως:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\delta k}{l} N - \frac{\beta}{l} N + e^{-\beta^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i + \frac{\alpha \Delta \Theta}{l} N \quad (26)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l e^{-\beta^2 \tau}} N - \lambda_i C_i \quad (27)$$

$$Q_x = C_x \frac{d\Theta}{dt} + K (\Theta_x - \Theta_s) \quad (28)$$

Ἐπειδὴ δὲ ἡ ὑπὸ τοῦ ἀντιδραστήρου παραγομένη ἰσχύς εἶναι ἀπ' εὐθείας ἀνάλογος τοῦ ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου ὑπάρχοντος ἀριθμοῦ νετρονίων, δυνάμεθα νὰ ἀντικαταστήσωμεν τὸ N διὰ τοῦ P , ἔνθα P = ἰσχύς ἀντιδραστήρου, τὸ C_i διὰ τοῦ K_i , ἔνθα K_i = παραγομένη ἰσχύς ὑπὸ τῶν καθυστερημένων νετρονίων ἰσοτῆς ὁμάδος, καθὼς ἐπίσης καὶ τὸ Q_x διὰ τοῦ P .

Τοιοιτοτρόπως αἱ ἐξισώσεις (26), (27) καὶ (28) τελικῶς λαμβάνουν τὴν μορφήν:

$$\frac{dP}{dt} = P - \frac{\beta}{l} P + e^{-\beta^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i + \frac{\alpha \Delta \Theta}{l} P \quad (29)$$

$$\frac{dK_i}{dt} = \frac{\beta_i}{1e^{-\beta^2 t}} P - \lambda_i K_i \quad (30)$$

$$P = C_x \frac{d\Theta_x}{dt} + K (\Theta_x - \Theta_y) \quad (31)$$

Ἐξομοίωσις

Ἐκ τοῦ συστήματος τῶν ἔξισώσεων αὐτῶν ἢ (29) κατέστη μὴ γραμμικὴ λόγῳ, τῆς εἰσαγωγῆς τοῦ παράγοντος θερμοκρασία, διότι ἀμφότεροι οἱ παράγοντες τοῦ γινομένου $P\Delta\Theta$, εἶναι συναρτήσεις τοῦ χρόνου.

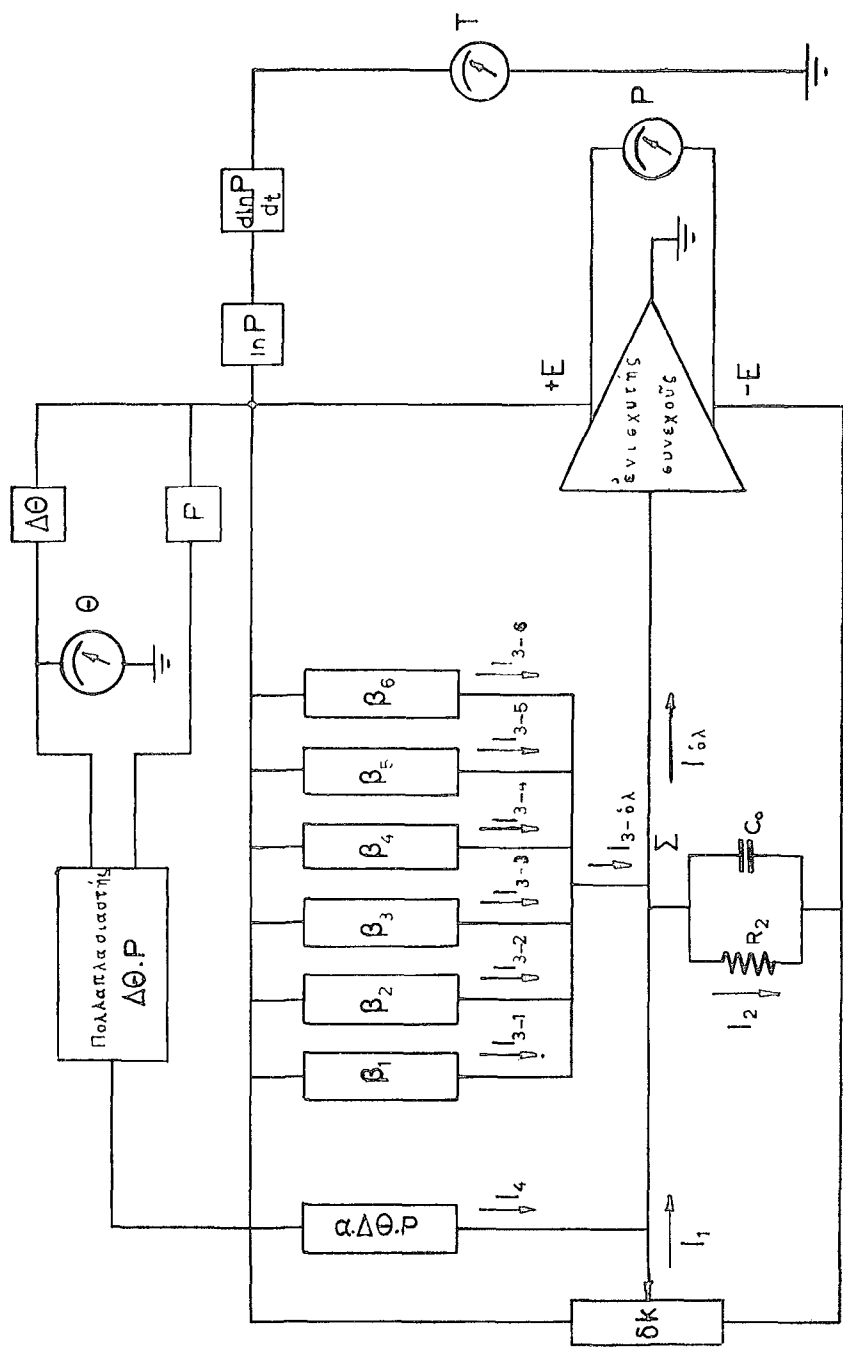
Μαθηματικῶς τὸ πρόβλημα τῆς ἐπιλύσεως τῶν ἔξισώσεων αὐτῶν διὰ δοθεῖσαν μεταβολὴν τοῦ δk εἶναι λίαν ἐπίπονον καὶ κοπιῶδες.

Ἡ λύσις τῶν διαφορικῶν αὐτῶν ἔξισώσεων ἀπλουστεύεται πολὺ διὰ τῆς χρησιμοποιήσεως ἑνὸς ἠλεκτρονικοῦ ἀναλογικοῦ ὑπολογιστοῦ μὲ πραγματικὴν βᾶσιν χρόνου, δηλ. ἀνταποκρινομένην εἰς τὸν πραγματικὸν χρόνον, μὲ τὸν ὁποῖον τὰ γεγονότα ἐξελίσσονται εἰς τὸ πρὸς μελέτην σύστημα, εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν εἰς τὸν ἀντιδραστήρα.

Ἡ κατασκευὴ ἑνὸς τοιούτου ἠλεκτρονικοῦ ἀναλογικοῦ ὑπολογιστοῦ μὲ «πραγματικὴν βᾶσιν χρόνου» ἢ, ὡς ἄλλως λέγεται, ἔξομοιωτοῦ, δίδει τὴν λύσιν τῶν διαφορικῶν ἔξισώσεων μὲ μεγάλην ἀκρίθειαν.

Ἡ λύσις διαφορικῶν ἔξισώσεων δι' ἔξομοιωτοῦ βασίζεται εἰς τὴν εὑρεσιν καταλλήλων ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων, τὰ ὁποῖα ὑπακούουν εἰς ἔξισώσεις ἀναλόγου τῶν πρὸς ἐπίλυσιν ἔξισώσεων. Διὰ καταλλήλου συνδυασμοῦ τῶν κυκλωμάτων αὐτῶν κατασκευάζεται μία ἠλεκτρονικὴ συσκευή, ὅπου αἱ ἄγνωστοι ποσότητες τῶν ἔξισώσεων παρίστανται ὑπὸ ἠλεκτρικῶν τάσεων, οἱ συντελεσταὶ εἶναι ἰσοδύναμοι πρὸς τὰς διαφόρους σταθερὰς τῶν ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων (ἀντιστάσεις, πυκνωταὶ κ.λ.π.) καὶ οἱ διάφοροι ὄροι τῶν ἔξισώσεων παρίστανται διὰ ρευμάτων, ἀριθμητικῶν τιμῶν εὐρισκομένων διὰ συνδυασμοῦ τῶν συντελεστῶν καὶ τῶν ἀγνώστων τῆς ἔξισώσεως.

Τὸ σχῆμα 2 παριστᾷ σχηματικὸν διάγραμμα τοῦ κατασκευασθέντος ἠλεκτρονικοῦ ἔξομοιωτοῦ τοῦ ἀντιδραστήρος.



Σχηματικόν διάγραμμα έξομοιωτοῦ
ΣΧ.2

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Ύπολογισμός τῶν διαφόρων ηλεκτρονικῶν κυκλωμάτων καὶ ρευμάτων

Ὡς ἐλέχθη καὶ προηγουμένως (ὄρα καὶ σχηματικὸν διάγραμμα σχήματος 2) ἕκαστος ὅρος τῆς πρὸς ἐξομοίωσιν ἐξισώσεως παρίσταται ὑφ' ἑνὸς ηλεκτρικοῦ ρεύματος παραγομένου ὑπὸ καταλλήλου ηλεκτρικοῦ κυκλώματος. Οὕτω οἱ τέσσαρες ὅροι τῆς (29) θὰ παρίστανται ὑπὸ τῶν ἀντιστοιχούντων ρευμάτων $I_1, I_2, \sum_{i=1}^6 I_{3\omega i} = I_{3\omega}$, I_1 τὸ δὲ ἄθροισμα αὐτῶν $I_{\omega} = I_1 + I_2 + I_{3\omega} + I_1$

θὰ εἶναι ἀνάλογον τοῦ ὅρου $\frac{dP}{dt}$. Ὅλα αὐτὰ τὰ ρεύματα καταλήγουσιν εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον (γραμμὴ Σ ἐπὶ τοῦ σχηματικοῦ διαγράμματος) καὶ ὀδηγοῦνται εἰς τὴν εἴσοδον ἑνὸς διαφορικοῦ ἐνισχυτοῦ συνεχοῦς τάσεως ὑψηλῆς ἀπολαβῆς. Ὁ σκοπὸς τοῦ ἐνισχυτοῦ αὐτοῦ εἶναι:

α) Νὰ διατηρῇ σταθερὸν τὸ δυναμικὸν τοῦ πλέγματος εἰσόδου τοῦ δι' ἕκαστον εἰσερχόμενον σῆμα καὶ ἴσον περίπου πρὸς μηδέν.

β) Νὰ παρέχῃ δύο σήματα ἐξόδου μεταβαλλόμενα ἐξ ἴσου καὶ ἀντιθέτως.

Ἡ ιδιότης αὕτη εἶναι ἀπαραίτητος ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῆς περαιτέρω ἀναλύσεως ὅπου εἰς ὄρισμένα σημεῖα τοῦ κυκλώματος τοῦ ἐξομοιωτοῦ ἀπαιτεῖται ἀρνητικὸν σῆμα (Βλέπε προσδιορισμὸν τοῦ I_2).

γ) Νὰ δίδῃ ὡς σῆμα ἐξόδου τάσιν ἢ ὁποῖα νὰ εἶναι ἡ πλήρης ὀλοκλήρωσις ὡς πρὸς t τοῦ ρεύματος εἰσόδου, πράγμα ἀπαραίτητον διὰ τὴν ἐξομοίωσιν τῆς ἐξισώσεως (βλ. κύκλωμα ἐνισχυτοῦ - ὀλοκληρώσεως).

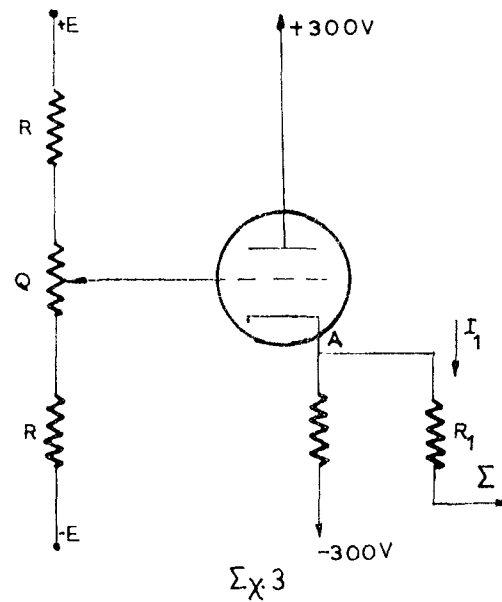
Ύπολογισμὸς τοῦ I_1

Ὁ πρῶτος ὅρος τῆς ἐξισώσεως (29), ἐξομοιοῦται ὡς ἐξῆς:

Ποτενσιόμετρον Q συνδέεται μέσφ δύο ἀντιστάσεων R μεταξὺ δύο σημείων, ἀντιστοιχούντων τάσεων E καὶ $-E$, ἔνθα E καὶ $-E$ εἶναι αἱ τάσεις ἐξόδου ὡς πρὸς γῆν τοῦ ἐνισχυτοῦ (σχ. 3).

Ἡ ἀκίς τοῦ ποτενσιομέτρου ὀδηγεῖται εἰς τὸ πλέγμα ἑνὸς καθοδικοῦ ἐνισχυτοῦ ἐκ τῆς καθόδου τοῦ ὁποίου λαμβάνεται ἓν σῆμα τὸ ὁποῖον ὀδηγεῖται εἰς τὸ κοινὸν σημεῖον τῶν ρευμάτων Σ .

Ἐὰν ἡ ἐνίσχυσις τοῦ καθοδικοῦ ἐνισχυτοῦ εἶναι A_x , τότε ἡ τάσις ὡς πρὸς γῆν εἰς τὸ σημεῖον A εἶναι $E_A = A_x E \frac{Q}{Q+R}$ D. Ἐνθα D παριστᾷ συντελεστήν, ὁ ὁποῖος μεταβάλλεται γραμμικῶς ἀναλόγως τῆς ἀπομακρύνσεως τῆς ἀκίδος τοῦ ποτενσιομέτρου ἐκ τοῦ κέντρου καὶ ὁ ὁποῖος διὰ τὸ ἄνω ἄκρον τοῦ Q εἶναι +1, διὰ τὸ κάτω —1 καὶ διὰ τὸ κέντρον 0.



Τὸ ρεῦμα I_1 ἰσοῦται πρὸς

$$I_1 = \frac{E_A}{R_1} = \frac{A_x \left[\frac{ER}{R + \frac{Q}{4}(1-D)} - \frac{ER}{R + \frac{Q}{4}(1+D)} \right]}{R_1} = \frac{A_x ED}{R_1 \left[1 + \frac{2R}{Q} + \frac{Q}{8R}(1-D^2) \right]} \quad (32)$$

Ἐκ τῆς (32) διὰ $D = +1$ ἔχομεν τὸ I_{\max} τὸ ὁποῖον ἰσοῦται πρὸς

$$I_{\max} = \frac{A_z E}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right)} \quad (33)$$

Λεδομένου ὅτι ὁ πρῶτος ὄρος τῆς (29) ἀναφέρεται εἰς τὴν δραστηρότητα δk τοῦ ἀντιδραστῆρος δυνάμεθα νὰ θέσωμεν:

$$\frac{I_1}{I_{\max}} = \frac{\delta k}{\delta k_{\max}} \quad (34)$$

$$\eta \quad I_1 = I_{\max} \frac{\delta k}{\delta k_{\max}}$$

$$\eta \quad I_1 = \frac{\delta k}{\delta k_{\max}} \frac{A_z E}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right)} \quad (35)$$

Προσδιορισμὸς τοῦ D : Ἐκ τῆς (34) ἔχομεν:

$$\frac{\delta k}{\delta k_{\max}} = \frac{\frac{A_z E D}{R_1 \left[1 + \frac{2R}{Q} + \frac{Q}{8R}(1-D)^2\right]}}{\frac{A_z E}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right)}} = \frac{D \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right)}{1 + 2 \frac{R}{Q} + \frac{Q}{8R}(1-D)^2}$$

$$\text{καὶ } \delta k = \frac{D}{1 + \frac{\left(\frac{Q}{R}\right)^2 (1+D^2)}{8 \left(2 + \frac{Q}{R}\right)}} \delta k_{\max} \quad (36)$$

ὅποτε τὸ δk παρουσιάζεται ὡς μὴ γραμμικὴ συνάρτησις τοῦ D . Ἐὰν ὁμοίως ὁ λόγος $\frac{Q}{R}$ εἶναι ἀρκετὰ μικρὸς καὶ συγκεκριμένως $< \frac{1}{5}$ τότε ὁ παρανομαστής τῆς (36) πλησιάζει πρὸς τὴν μονάδα, ὅποτε δυνάμεθα νὰ εἰπωμεν μὲ σφάλμα οὐχὶ μεγαλύτερον τοῦ 1% ὅτι τὸ $\delta k = D \delta k_{\max}$.

Ἐὰν πολλαπλασιάσωμεν τὸν ἀριθμητὴν καὶ παρανομαστὴν τῆς ἐξίσωσως (35) μὲ 1 καὶ θέσωμεν ὅπου $E = \varepsilon P$, (ἔνθα ε συντελεστὴς ἀναλογίας, ὁ ὁποῖος θὰ ὀρισθῆ ἀργότερον), ἔχομεν:

$$I_1 = \left[\frac{A_2 \varepsilon l}{R_1 \left(1 + 1 \frac{R}{Q} \right) \delta k_{\max}} \right] \frac{\delta k}{l} P \quad (37)$$

Τὸ ρεῦμα τοῦτο παριστᾶ τὸν πρῶτον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29) καὶ ἡ ἐντὸς τῆς ἀγκύλης ποσότης παριστᾶ τὸν συντελεστὴν «ἐξομοιώσεως».

Ἐπολογισμὸς τοῦ I_2

Τὸ ρεῦμα τὸ ἀντιστοιχοῦν εἰς τὸν δεύτερον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29), λαμβάνεται διὰ τοποθέτησεως μιᾶς ἀντιστάσεως R_2 μεταξὺ τοῦ κοινοῦ σημείου Σ καὶ τοῦ $-E$ (σχ. 2), ὅποτε ἔχομεν: $I_2 = -\frac{E}{R_2}$ (38)

Ἄλλὰ διὰ πολλαπλασιασμοῦ τοῦ ἀριθμητοῦ καὶ παρονομαστοῦ τῆς (38) ἐπιβί καὶ λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι $E = \varepsilon P$, ἔχομεν:

$$I_2 = -\left[\frac{\varepsilon l}{R_2 \beta} \right] \cdot \frac{\beta}{l} P \quad (39)$$

Τὸ ρεῦμα I_2 παριστᾶ τὸν δεύτερον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29) καὶ ἡ ἐντὸς τῆς ἀγκύλης ποσότης παριστᾶ τὸν συντελεστὴν ἐξομοιώσεως.

Ἐπολογισμὸς τοῦ $I_{3\delta\lambda}$

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῶν ρευμάτων τῶν ἀντιστοιχούντων εἰς τὸν τρίτον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29), θὰ μεταχειρισθῶμεν καὶ τὴν ἐξίσωσιν (30).

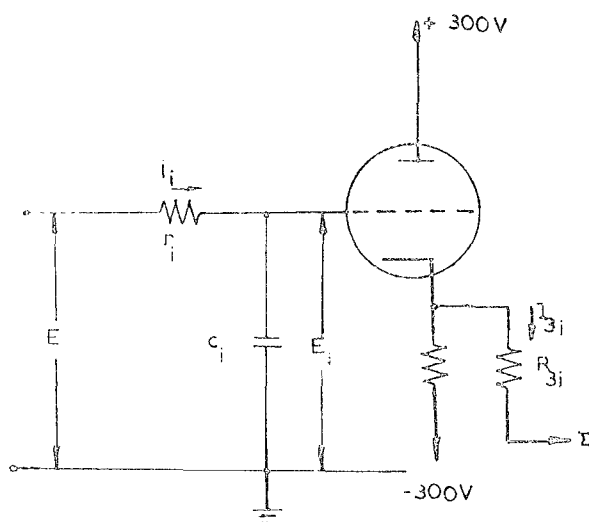
Ἐστω κατ' ἀρχὴν τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 4.

$$\text{Εἰς τὸ κύκλωμα τοῦτο ἰσχύει ὅτι: } \frac{dE_i}{dt} = \frac{i_i}{c_i} = \frac{E - E_i}{r_i c_i} \quad (40)$$

$$\text{Ἐὰν τεθῇ } \frac{1}{r_i c_i} = \lambda_i \quad (41)$$

καὶ $E = \varepsilon P$, τότε ἡ (40) γίνεταί:

$$\frac{dE_i}{dt} = -\lambda_i E_i + \lambda_i \varepsilon P \quad (42)$$



Σ ν. 4.

Ἐὰν εἰς τὴν (42) τεθεῖ $E_i = \frac{K_i I \lambda_i \varepsilon e^{-B^2 \tau}}{\beta_i}$ τότε αὕτη λαμβάνει τὴν μορφήν τῆς (30) ἀκριβῶς (ὡς ἐνκόλως ἐμφαίνεται ἐὰν ἀντικαταστήσωμεν τὸ E_i μὲ τὴν τεθεῖσαν τιμὴν).

Τὸ ρεῦμα I_{3i} τὸ λαμβανόμενον ἐκ τοῦ καθοδικοῦ ἐνισχυτοῦ ἰσοῦται πρὸς

$$I_{3i} = \frac{A_i E_i}{R_{3i}} = \frac{A_i K_i I \lambda_i \varepsilon e^{-B^2 \tau}}{\beta_i R_{3i}} = \left[\frac{A_i I \varepsilon}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} \lambda_i K_i \quad (43)$$

Ἐπειδὴ $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, τὸ I_{3i} θὰ ἀποτελεῖται ἐξ 6 προσθετέων, οἱ ὅποιοι θὰ καταλήγουν ὅλοι εἰς τὸ Σ .

Τὸ κύκλωμα λοιπὸν τοῦ σχ. 4 θὰ ἐπαναληφθῇ 6 φορές ὡς δεικνύεται καὶ εἰς τὸ σχ. 5.

Οὕτω, ἐκ τῆς (42) ἔχομεν:

$$\sum_{i=1}^6 I_{3i} = I_{3\text{ολ}} = \left[\frac{A_i I \varepsilon}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i \quad (44)$$

Τὸ ρεῦμα λοιπὸν $I_{3\text{ολ}}$ παριστᾷ τὸν τρίτον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29) καὶ ἢ ἐντὸς τῶν ἀγκυλῶν ποσότης τὸν συντελεστὴν ἑξομοιώσεως.

Ἐπολογισμὸς τοῦ I_1

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τοῦ ρεύματος I_1 τοῦ ἀντιστοιχοῦντος εἰς τὸν τέταρτον ὄρον τῆς ἐξίσωσως (29) θὰ πρέπει νὰ πολλαπλασιασθοῦν δύο σήματα. Τὸ ἓν ἀνάλογον τῆς διαφορᾶς θερμοκρασίας καὶ τὸ ἕτερον ἀνάλογον τῆς ἰσχύος.

Προσδιορισμὸς τοῦ παράγοντος θερμοκρασίας: Πρὸς δημιουργίαν σήματος ἀναλόγου τῆς θερμοκρασίας χρησιμοποιεῖται ἡ ἐξίσωσις (31) καὶ τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.

Εἰς τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος αὐτοῦ περιλαμβάνονται ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος ψύξεως καὶ τὸ ὄργανον ἐνδείξεως θερμοκρασίας.

Ἡ σχέσις μεταξὺ τῶν ρευμάτων $i_{\theta-1}$ καὶ $i_{\theta-2}$ γράφεται ὡς ἑξῆς:

$$i_{\theta-1} = (i_{\theta-1} - i_{\theta-2}) + i_{\theta-2} \quad (45)$$

Ἐπειδὴ δὲ $i_{\theta-1} = \frac{E - E'}{R_{\theta}} = \frac{\epsilon P - E'}{R_{\theta}}$, $i_{\theta-2} = \frac{E'}{R'_{\theta}}$ ἔνθα E' ἡ τάσις εἰς τὸν

πυκνωτὴν C, $R'_{\theta} = R'_{\theta-1} + R'_{\theta-2} + R'_{\theta-3}$ καὶ $i_{\theta-2} - i_{\theta-1} = C \frac{dE'}{dt}$.

Ἡ (45) γράφεται: $\frac{\epsilon P}{R_{\theta}} = C \frac{dE'}{dt} + \frac{E'}{R'_{\theta}} + \frac{E'}{R_{\theta}} = C \frac{dE'}{dt} + \frac{R_{\theta} + R'_{\theta}}{R_{\theta} R'_{\theta}} E'$

$$\text{ἢ} \quad P = \frac{R_{\theta} C}{\epsilon} \frac{dE'}{dt} + \frac{R_{\theta}(R_{\theta} + R'_{\theta})}{\epsilon R'_{\theta} R_{\theta}} E' \quad (46)$$

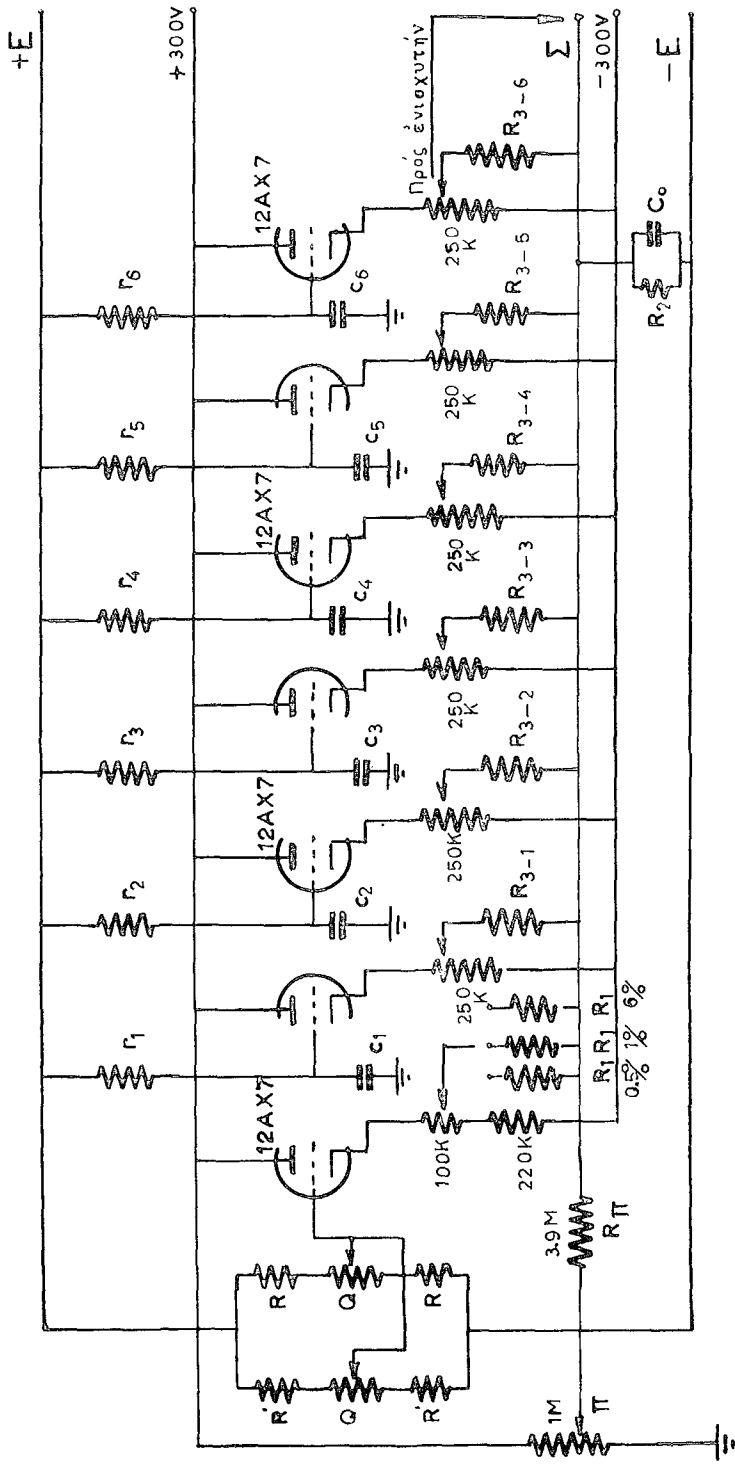
Ἐάν εἰς τὴν ἐξίσωσιν αὐτὴν θέσωμεν ὅπου:

$$E' = \frac{\epsilon R'_{\theta}}{R_{\theta} + R'_{\theta}} K(\theta_x - \theta_y)$$

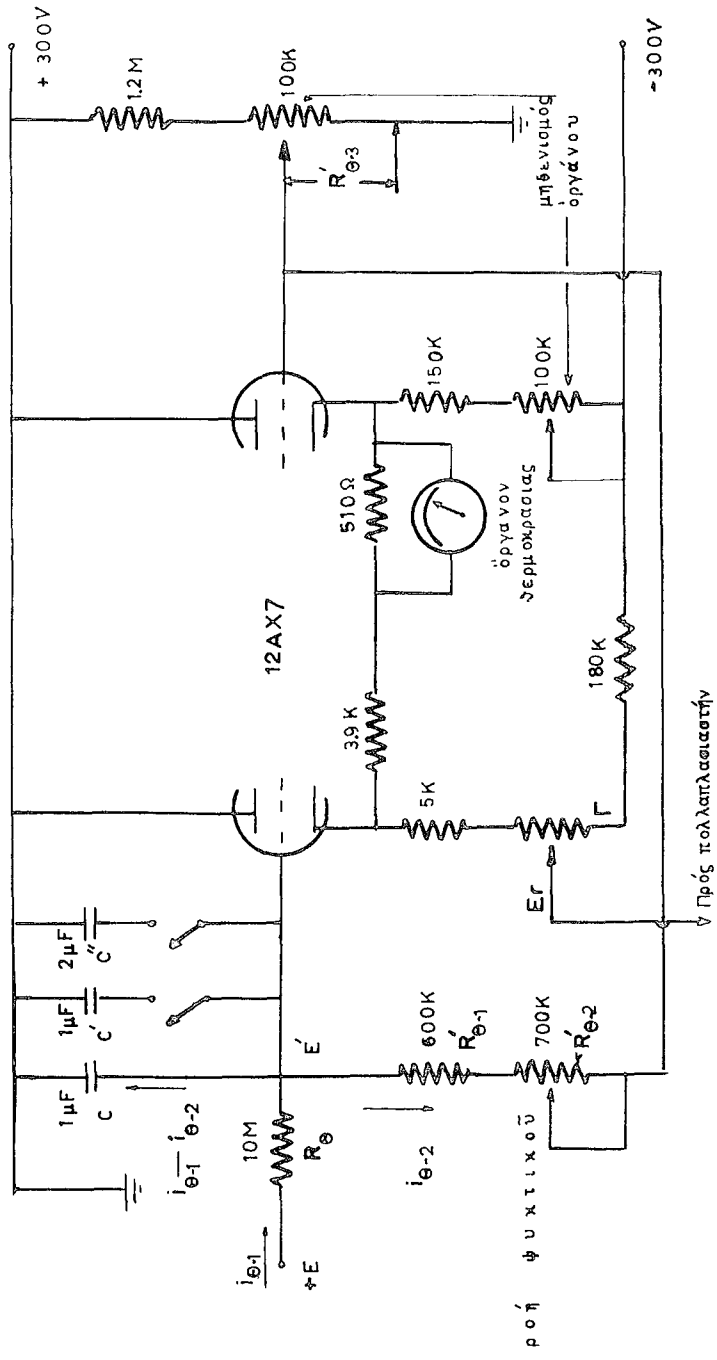
$$\text{καὶ} \quad \frac{dE'}{dt} = \frac{\epsilon R'_{\theta}}{R_{\theta} + R'_{\theta}} K \frac{d\theta_x}{dt} \quad (47)$$

(Εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν θεωροῦμεν ὅτι ἡ μὲν θερμοκρασία τοῦ καυσίμου στοιχείου θ_x εἶναι μεταβλητὴ, ἡ δὲ θερμοκρασία θ_y σταθερά. Ἐπὶ τῆς ὑποθέσεως ταύτης θὰ ἐπανέλθωμεν κατωτέρω, βλέπε προσδιορισμὸς τοῦ I_1).

Ἡ (46) δι' ἀντικαταστάσεως τῶν E' καὶ $\frac{dE'}{dt}$ γίνεται:



Κύκλωμα δκ, καδυστερημένων νετρονίων και πιγγής
 ΣΧ.5



Κύκλωμα θερμοκρασίας

$$P := \frac{R_{\Theta} C}{\varepsilon} \frac{\varepsilon R'_{\Theta}}{R_{\Theta} + R'_{\Theta}} \frac{K d\Theta_x}{dt} + \frac{R_{\Theta} (R_{\Theta} + R'_{\Theta}) \varepsilon R'_{\Theta}}{\varepsilon R'_{\Theta} R_{\Theta} (R_{\Theta} + R'_{\Theta})} K(\Theta_x - \Theta_y)$$

$$\text{καὶ ἐὰν τεθῆ} \quad \frac{C_x}{K} := \frac{R_{\Theta} R'_{\Theta} C}{R_{\Theta} + R'_{\Theta}} \quad (48)$$

ἢ ὡς ἄνω ἐξίσωσις μετασχηματίζεται εἰς τὴν

$$P = C_x \frac{d\Theta_x}{dt} + K(\Theta_x - \Theta_y) \quad (49)$$

ἢ ὁποία εἶναι ἡ αὐτὴ μετὰ τῆς ἐξισώσεως (31) ἀφοῦ βεβαίως ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν αἱ συνθῆκαι (47) καὶ (48).

Δεδομένου ὅτι ἡ ἐξίσωσις (49) προῆλθεν ἐκ τῆς (45) εἶναι σαφές ὅτι τὸ ρεῦμα $i_{\Theta-1}$ εἶναι ἀνάλογον τοῦ ρυθμοῦ τῆς ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου παραγομένης θερμότητος.

Τὸ ρεῦμα τοῦτο ἐν μέρει μὲν ($i_{\Theta-1} - i_{\Theta-2}$) διέρχεται διὰ τοῦ πυκνωτοῦ (1), (ὁ ὁποῖος εἶναι ἀνάλογος τῆς θερμοχωρητικότητος τοῦ ἀντιδραστήρου C_x διότι ὡς ἐκ τῆς (48) προκύπτει $C = \frac{R_B + R'_{\Theta}}{R_{\Theta} R'_{\Theta} K} C_x$) καὶ εἶναι ἀνάλογον τοῦ ποσοῦ θερμότητος τοῦ ἀποθηκευμένου ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου, ἐν μέρει δὲ ($i_{\Theta-1}$) διέρχεται διὰ τῆς R'_{Θ} καὶ τὸ ρεῦμα τοῦτο $i_{\Theta-2}$ εἶναι ἀνάλογον τοῦ ποσοῦ θερμότητος τοῦ ἀπαγομένου διὰ τοῦ ψυκτικοῦ.

Ἡ τιμὴ τοῦ ρεύματος τούτου καὶ ἐπομένως καὶ τὸ ποσὸν τῆς ἀπαγομένης θερμότητος μεταβάλλονται διὰ τοῦ ποτενσιομέτρου R'_{Θ} τὸ ὁποῖον ἐπομένως παριστᾷ τὴν ροὴν τοῦ ψυκτικοῦ.

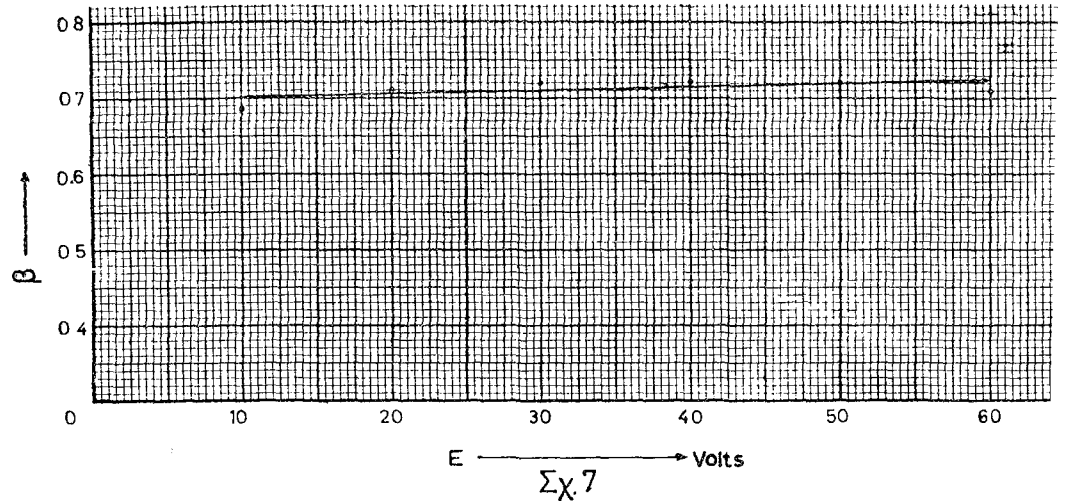
Ἡ τάσις E' τοῦ πυκνωτοῦ, ὁ ὁποῖος παριστᾷ τὴν θερμοχωρητικότητα τοῦ ἀντιδραστήρου, εἶναι ἀνάλογος καὶ τῆς μέσης θερμοκρασίας Θ_x τοῦ ἀντιδραστήρου. Ἡ ἔνδειξις τῆς θερμοκρασίας λαμβάνεται μεταξὺ τῶν δύο καθόδων καὶ ὄχι ἐκ τοῦ E' .

Διὰ τοῦ τρόπου αὐτοῦ, ἀφ' ἐνὸς μὲν ἐπιτυγχάνεται σύστημα γεφύρας, τὸ ὁποῖον ἐξασφαλίζει σταθερότητα τοῦ ὄργανου, ἀφ' ἑτέρου δὲ λόγῳ τοῦ ὅτι αἱ λυχνίαι ἀποτελοῦν καθοδικὸν ἐνισχυτὴν, δὲν ἀπαιτεῖται ὄργανον πολὺ μεγάλης ἐσωτερικῆς ἀντιστάσεως.

Τὸ σῆμα τὸ ἀνάλογον πρὸς τὴν θερμοκρασίαν λαμβάνεται ἐκ τοῦ ποτενσιομέτρου Γ τοῦ ἐνισχυτοῦ καθόδου σχ. 6 καὶ ἀποτελεῖ τὸν παράγοντα τῆς θερμοκρασίας εἰς τὸν τέταρτον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29), ὁδηγεῖται δὲ εἰς τὸ ὁδηγὸν πλέγμα τῆς λυχνίας τοῦ πολλαπλασιαστοῦ καὶ χρησιμεύει ὡς πάλωσις αὐτοῦ. Ἡ τάσις E_r ὡς πρὸς γῆν τοῦ σημείου Γ εἶναι ἀνάλογος τῆς τάσεως E' , οὕτω.

$$E_r = \beta E' = \beta \frac{\epsilon R'_{\theta}}{R_{\theta} + R'_{\theta}} K(\theta_x - \theta_y) \quad (50)$$

Ἐνθα β ὁ συντελεστὴς ἀναλογίας μεταξὺ τῶν δύο τάσεων, ὁ ὁποῖος ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 7 εἶναι σταθερὸς διὰ διαφορετικὰς τιμὰς τάσεων E καὶ ἴσος πρὸς $\beta = 0,71$



Δι' $E = 0$ ἢ τάσις E_r ρυθμίζεται ἴση πρὸς τὸ δυναμικὸν ἀποκοπῆς τοῦ πολλαπλασιαστοῦ, τὸ ὁποῖον εἶναι $-6V$ (βλέπε σχῆμα 10).

Προσδιορισμὸς τοῦ παράγοντος ἰσχύος: Ὁ παράγων ἰσχύος λαμβάνεται δι' ἑνὸς ταλαντωτοῦ Hartley 330 περίπου $Kc\ sec$, σχ. 8. Ἡ λαμβανομένη ἐναλλασσομένη τάσις E_1 ὀδηγεῖται καὶ αὐτὴ εἰς τὸν ὀδηγὸν πλέγμα τοῦ πολλαπλασιαστοῦ.

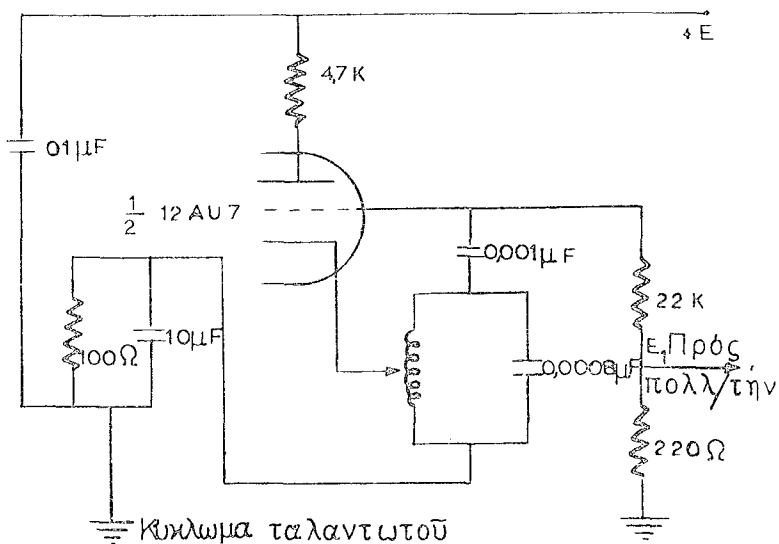
Ἡ τάσις αὕτη E_1 εἶναι ἀνάλογος τῆς E δηλαδή:

$$E_1 = \gamma E = \gamma \epsilon P \quad (51)$$

Ἐνθα γ ὁ συντελεστὴς ἀναλογίας, ὁ ὁποῖος ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τοῦ σχ. 9 εἶναι σταθερὸς διὰ διαφόρους τιμὰς τοῦ E καὶ ἴσος πρὸς $1,8 \times 10^{-3}$

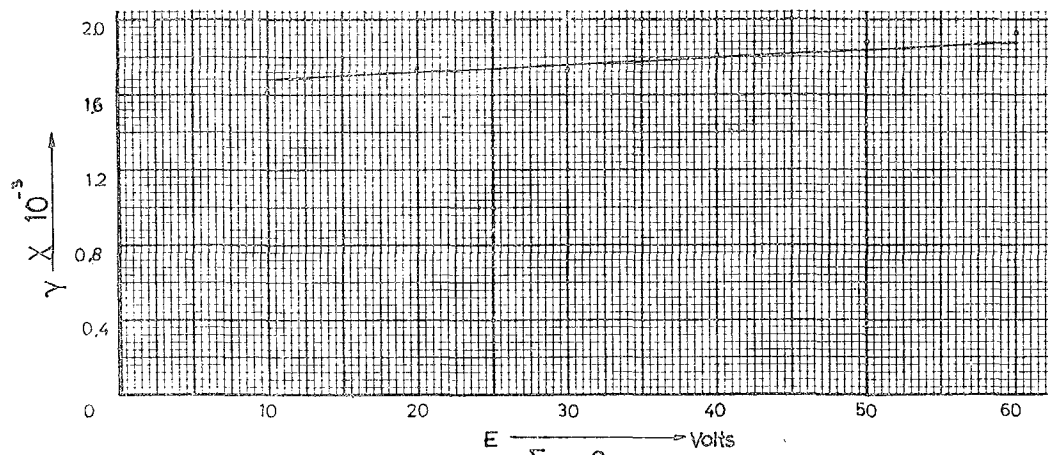
Κύκλωμα πολλαπλασιαστοῦ. Ὁ πολλαπλασιασμὸς ἐπιτυγχάνεται διὰ μιᾶς πεντόδου λυχνίας 6SK7 σχ. 11, τὸ ἀνοδικὸν κύκλωμα τῆς ὁποίας εἶναι συντονισμένον, εἰς τὴν συχνότητα τοῦ ταλαντωτοῦ Hartley. Ἐκ τῆς καμπύλης σχ. 10, ἡ ὁποία ἀφορᾷ τὴν λυχνίαν 6SK7 καὶ ἡ ὁποία παριστᾷ τὴν τάσιν ἑξόδου τοῦ πολλαπλασιαστοῦ συναρτῆσει τῆς πολώσεως διὰ

διαφόρους σταθεράς άνοδικές τάσεις E επί της άνόδου του ταλαντωτού, έμ-



Σχ 8.

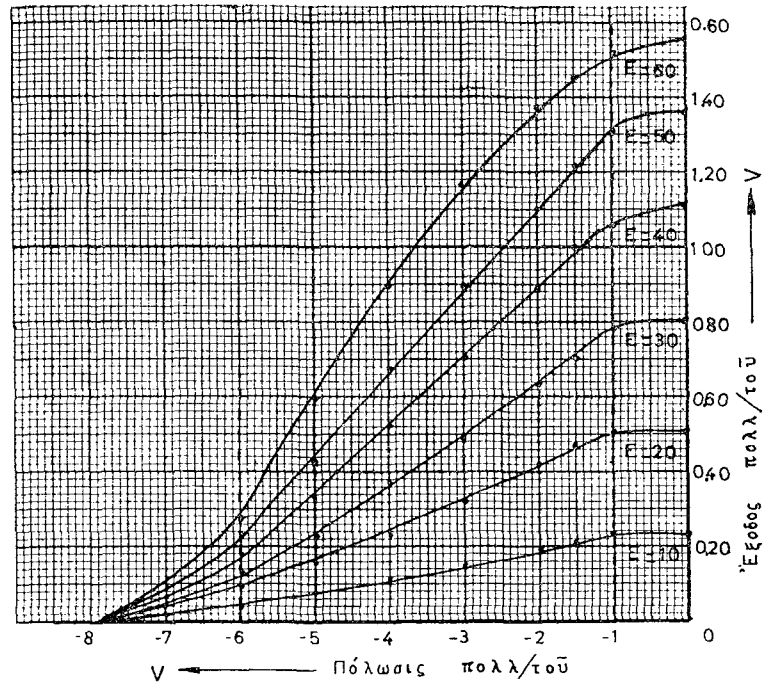
φαίνεται ότι δια πόλώσεις μικρότερες των -8V, δέν λαμβάνομεν τάσιν έξόδου εκ της λυχνίας του πολλαπλασιαστού.



Σχ. 9

Έπίσης εκ της 10 έμφαίνεται ότι μεταξύ -6 και 1V ή καμπύλη πο-

λώσεως τάσεως ἐξόδου εἶναι σχεδὸν εὐθεΐα. Ἴσως ἡ τάσις E_r ρυθμίζεται ὥστε νὰ μεταβάλλεται μεταξὺ -6 Volts καὶ -1 Volts δι' ἐλαχίστην καὶ μέγιστην μεταβολὴν τῆς E . Τὸ γινόμενον τῶν δύο σημάτων τῶν ἀναλόγων τῆς



Σχ. 10

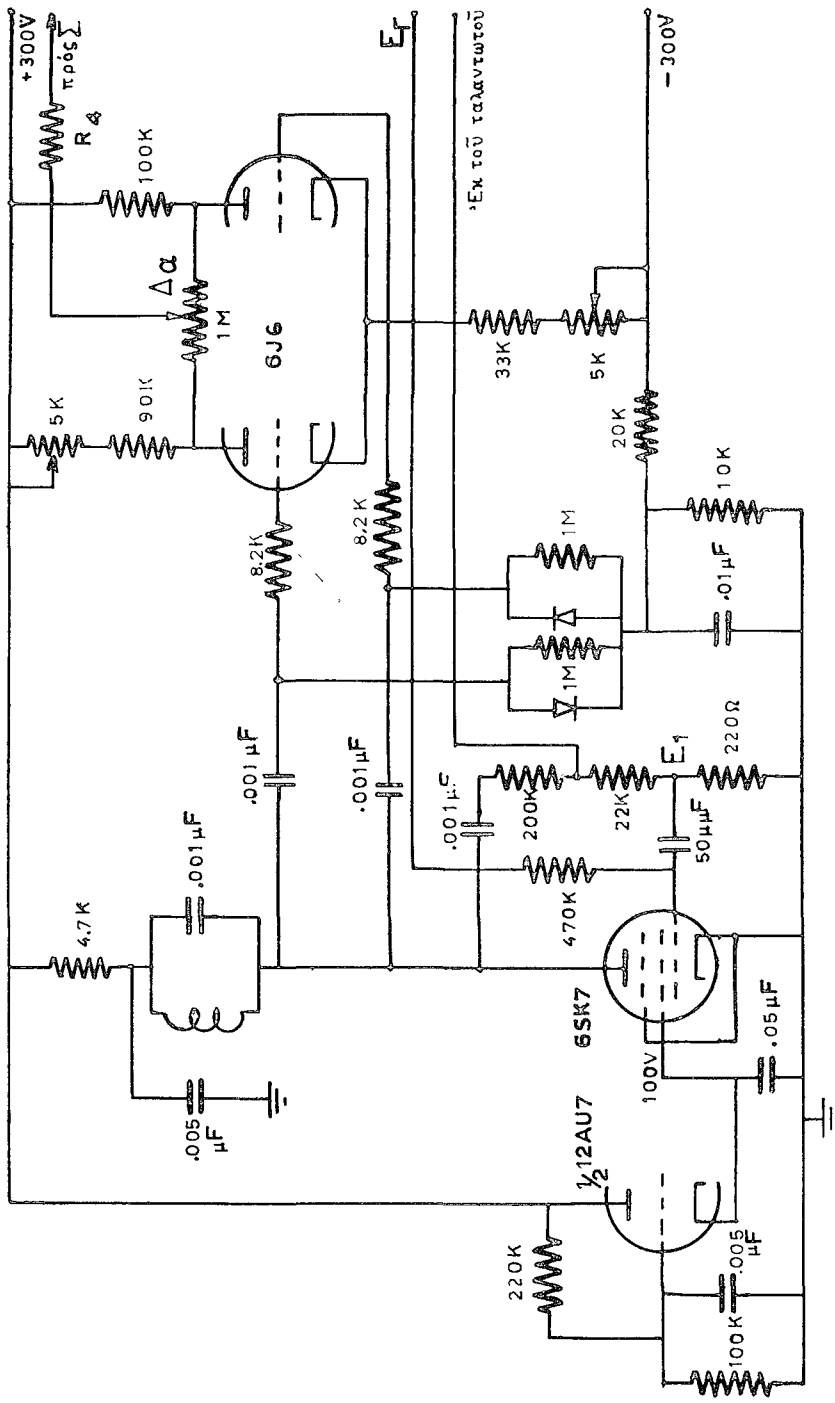
θερμοκρασίας καὶ τῆς ἰσχύος ὁδηγεῖται εἰς τὰ πλέγματα τῆς διπλοτριόδου 6J6 (σχ. 11).

Τὸ ἐκ τοῦ Δa λαμβανόμενον ρεῦμα εἶναι ἀνάλογον τῆς θέσεως τοῦ ποτενσιομέτρου καὶ τῆς τάσεως ἐξόδου τοῦ πολλαπλασιαστοῦ καὶ ἔχει μηδενικὴν τιμὴν εἰς τὸ μέσον θετικὴν δὲ καὶ ἀρνητικὴν ἐκατέρωθεν.

Προσδιορισμὸς τοῦ I_1 : Ἐκ τοῦ σχήματος II ἔχομεν ὅτι:

$$I_1 = \frac{\text{Τάσις ἐξοδ. π.π.λ. τοῦ}}{R_1} = \frac{m \times E_r \times E_1}{R_1} \quad (52)$$

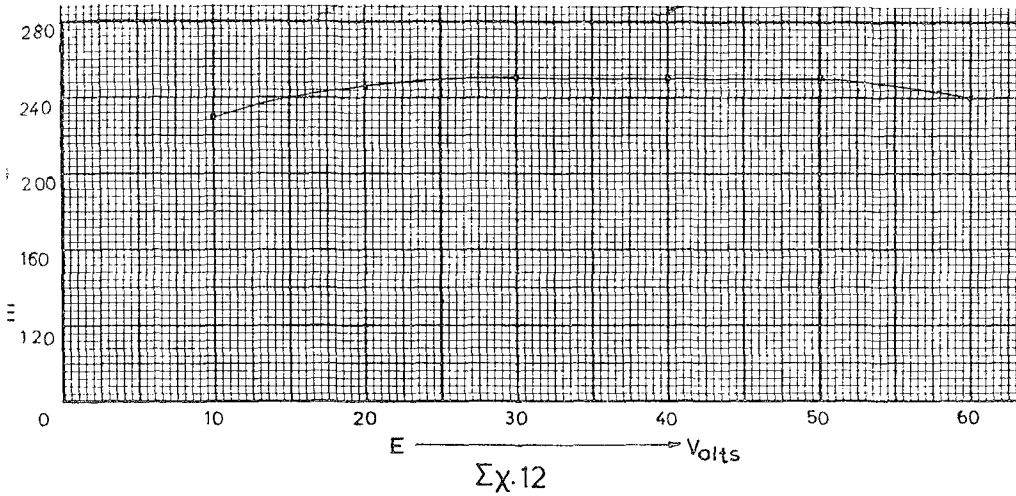
ἐνθα $m = \delta$ παράγων ἐνισχύσεως τοῦ κυκλώματος πολλαπλασιαστοῦ, ὁ ὁποῖος ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῆς ληφθείσης καμπύλης (σχ. 12) εἶναι περίπου σταθερὸς καὶ ἴσος πρὸς 180.



Κύκλωμα πολλαπλασιαστή
ΣΧ 11

Ἀντικαθιστώντες εἰς τὴν (52) τὰς τιμὰς ἐκ τῶν (50) καὶ (51) ἔχομεν:

$$I_4 = \frac{m \beta \varepsilon \frac{R'}{R\Theta + R} \cdot K(\Theta_x - \Theta_y) \gamma \cdot \varepsilon \cdot P}{R_4}$$



ἢ πολλαπλασιάζοντες ἀριθμητὴν καὶ παρονομαστὴν ἐπὶ αἱ (α = συντελεστὴς θερμοκρασίας) ἔχομεν:

$$I_4 = \left[\frac{m \beta \varepsilon R' \cdot K \gamma \varepsilon l}{(R' + R\Theta) R_1 \alpha} \right] \frac{\alpha(\Theta_x - \Theta_y)}{l} P \quad (53)$$

Ὁ ἐντὸς τῆς ἀγκύλης ὄρος εἶναι ἴσος πρὸς τὸν τέταρτον ὄρον τῆς ἐξισώσεως (29) ἀρκεῖ τὸ $\Delta\Theta$ νὰ εἶναι ἴσον πρὸς $\Theta_x - \Theta_y$. Πράγματι $\Delta\Theta$ εἶναι ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀντιδραστήρου. Ὡς ἀρχικὴ θερμοκρασία δύναται νὰ ληφθῇ οἰαδήποτε σταθερὰ θερμοκρασία, ὡς ἡ μέση θερμοκρασία Θ_y τοῦ ψυκτικοῦ, ἢ ὁποία εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου παραμένει περίπου σταθερὰ κατὰ τὴν διάρκειαν λειτουργίας τοῦ ἀντιδραστήρου δι' εἰδικοῦ αὐτομάτου μηχανισμοῦ. Τοιοῦτοτρόπως δυνάμεθα νὰ εἴπωμεν μετὰ μεγίστης προσεγγίσεως ὅτι: $\Delta\Theta = \Theta_x - \Theta_y$.

Οὕτω τὸ I_4 παριστᾷ τὸν τέταρτον ὄρον τῆς (29) καὶ ἡ ἐντὸς τῶν ἀγκυλῶν ποσότης παριστᾷ τὸν συντελεστὴν ἑξομοιώσεως.

Πηγή νετρονίων

Ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρος ὑπάρχει μία ἐξωτερικὴ πηγὴ νετρονίων, ἣ ὁποία χρησιμεύει διὰ τὴν ἔναρξιν τῆς ἀλυσωτῆς ἀντιδράσεως καὶ συνήθως παραμένει μονίμως ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρος, ὡς θὰ συμβαίῃ εἰς τὴν περιήλωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρος. Λόγω τῆς πηγῆς ταύτης ὑπάρχει μία μόνιμος κατανομὴ νετρονίων, ἣ ὁποία δὲν μεταβάλλεται μετὰ τοῦ χρόνου.

Ἡ πηγὴ αὕτη παρίσταται δι' ἑνὸς ποτενσιομέτρου Π (σχ. 5). Τὸ ἐκ τοῦ ποτενσιομέτρου τούτου λαμβανόμενον ρεῦμα ὀδηγεῖται μέσῳ τῆς ἀντιστάσεως Rπ εἰς τὸ κοινὸν σημεῖον Σ καὶ ἀφ' ἑνὸς μὲν προκαλεῖ ἓν σῆμα παριστὸν τὴν πηγὴν τῶν νετρονίων, ἀφ' ἑτέρου δὲ ἀντισταθμίζει τὰς διαφορὰς τάσεως, αἱ ὁποῖαι δημιουργοῦνται λόγῳ τῶν καθοδικῶν ἐνισχυτῶν, ὥστε τελικῶς ἡ τάσις εἰς τὸ Σ ὡς πρὸς γῆν νὰ εἶναι περίπου ἴση πρὸς μηδέν.

Ἡ ἀκριβὴς τιμὴ τοῦ ρεύματος τούτου δὲν ἔχει σημασίαν, (διότι καὶ ἡ ἀκριβὴς τιμὴ τοῦ ἀριθμοῦ τῶν νετρονίων ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρος τῶν προερχομένων ἐκ τῆς πηγῆς, δὲν ἔχει σημασίαν), ἀρκεῖ νὰ εἶναι ἀρκετὸν, ὥστε νὰ ἐξουδετερώσῃ τὰς διαφορὰς δυναμικοῦ καὶ νὰ δίδῃ ἓν σῆμα ἀντιστοιχοῦν εἰς τὴν πηγὴν τῶν νετρονίων.

Κύκλωμα ἐνισχυτοῦ — ὀλοκληρώσεως

Διὰ προσθέσεως ὅλων τῶν ρευμάτων ἔχομεν:

$$I_{ολ} = \left[\frac{A_x \epsilon I}{R_1 (1 + 2 \frac{R}{Q}) \delta k_{max}} \right] \frac{\delta k P}{1} - \left[\frac{\epsilon I}{R_2 \beta} \right] \frac{\beta}{1} P + \left[- \frac{A_i I \epsilon}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i + \left[\frac{m \beta \epsilon R' \Theta K \gamma \epsilon I}{(R_\Theta + R' \Theta) R_4 \alpha} \right] \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P \quad (54)$$

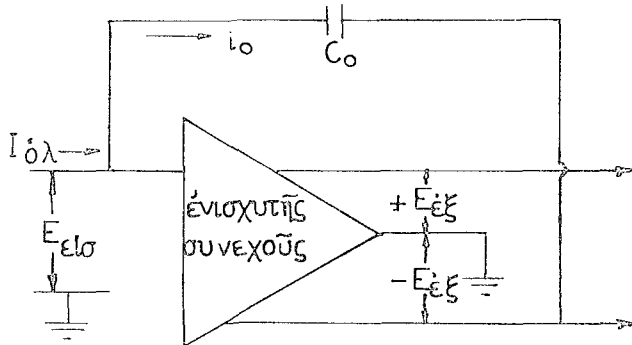
Τὰ ρεύματα ταῦτα ὀδηγοῦνται εἰς τὸ κοινὸν σημεῖον Σ, ὁπότε ἐὰν διέλθουν δι' ἑνὸς κυκλώματος ὀλοκληρώσεως, τὸ ὁποῖον νὰ παρέχῃ ὡς τάσιν ἐξόδου αὐτοῦ τὸ χρονικὸν ὀλοκλήρωμα τῶν ρευμάτων, πολλαπλασιαζόμενον ἐπὶ μίαν σταθεράν, τότε ἡ τάσις αὕτη ἐξόδου θὰ παριστᾷ τὴν ἰσχὺν P τοῦ ἀντιδραστήρος. Πράγματι, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ ἀπλοποιημένον σχῆμα τοῦ ἐνισχυτοῦ (σχ. 13) τὸ

$$\int i_o dt = C_o (E_{\xi\xi} - E_{\epsilon\iota\sigma}) \quad (55)$$

Δεδομένου όμως, ότι το ρεύμα πλέγματος του ενισχυτού είναι μηδέν, ή (55) γίνεται

$$\int I_{ολ} dt = C_o (E_{εξ} - E_{εισ}) \quad (56)$$

Άλλά, ως ελέχθη και εις προηγούμενην παράγραφον, λόγω τῆς πολῦ μεγάλης ἀπολαβῆς τοῦ ενισχυτοῦ, τὸ $E_{εισ}$ εἶναι πάρα πολὺ μικρότερον τοῦ $E_{εξ}$. ὁπότε ἡ (56) γίνεται:



Σχ 13.

$$\int I_{ολ} dt = C_o E_{εξ}$$

Για διαφορήσεως τῆς ἐξισώσεως ταύτης λαμβάνομεν:

$$I_{ολ} dt = C_o dE_{εξ} \quad \eta \text{ ἐπειδὴ } E_{εξ} = E \quad I_{ολ} = C_o \frac{dE_{εξ}}{dt} = C_o \frac{dE}{dt}$$

καὶ ἐπειδὴ $E = \epsilon P$

$$I_{ολ} = \left[C_o \epsilon \right] \frac{dP}{dt} \quad (57)$$

Ἡ ἐξίσωσις (57) παριστᾷ τὸ πρῶτον μέλος τῆς ἐξισώσεως (29) καὶ ἡ ἐντὸς τῆς ἀγκύλης ποσότης, τὸν συντελεστὴν ἐξομοιώσεως.

Τὸ πλήρες κύκλωμα τοῦ ενισχυτοῦ παρίσταται εἰς τὸ σχῆμα 14.

Προσδιορισμός τῶν διαφόρων σταθερῶν τοῦ κυκλώματος

Λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν τὰς (54) καὶ (57) καὶ διὰ διαιρέσεως ἀμφοτέρων τῶν μελῶν δι' ε , ἔχομεν:

$$[C_0] \frac{dP}{dt} = \left[\frac{A_n 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} \right] \frac{\delta k P}{1} - \left[\frac{1}{R_2 \beta} \right] \frac{\beta}{1} P + \left[\frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i +$$

$$+ \left[\frac{m \beta \varepsilon R' \theta K \gamma l}{(R \theta + R' \theta) R_4 \alpha} \right] \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P \quad (58)$$

ἢ, διὰ διαιρέσεως ἀμφοτέρων τῶν μελῶν διὰ $[C_0]$ ἔχομεν:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_n 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} \right] \frac{\delta k P}{1} - \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{1}{R_2 \beta} \right] \frac{\beta}{1} P + \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau}$$

$$\sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i + \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{m \beta \varepsilon R' \theta K \gamma l}{(R' \theta + R \theta) R_4 \alpha} \right] \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P \quad (58\alpha)$$

Ἡ ἐξίσωσις αὕτη εἶναι ἡ ἐξίσωσις τοῦ ἑξομοιωτοῦ, ἐνῶ ἡ πρὸς ἑξομοίωσιν ἐξίσωσις τοῦ ἀντιδραστήρου εἶναι ἡ γνωστὴ ἐξίσωσις 29. Δηλαδή.

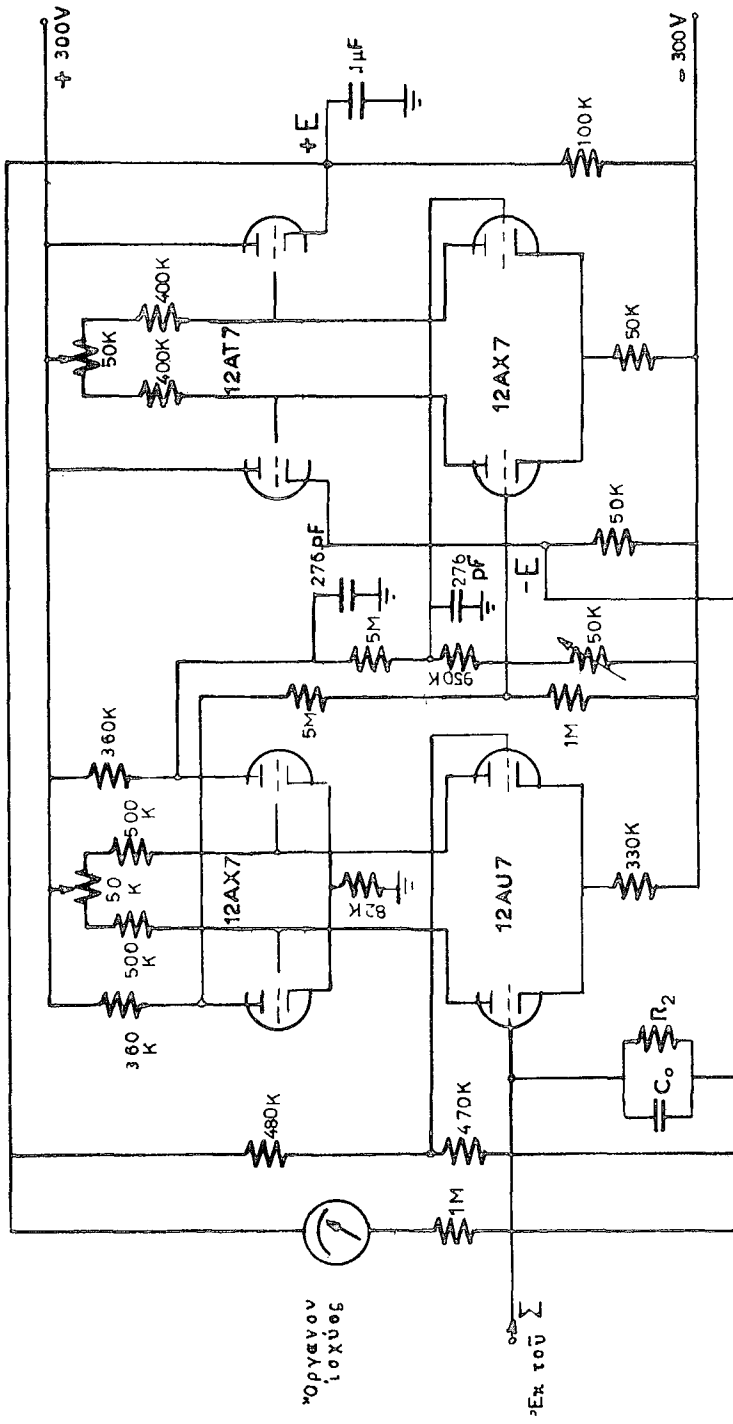
$$\frac{dP}{dt} = \frac{\delta k}{1} P - \frac{\beta}{1} P + e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i + \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P$$

Διὰ τὴν ἀναπαριστᾶ δὲ ἑξομοιωτῆς τὴν λειτουργίαν τοῦ ἀντιδραστήρου, θὰ πρέπει αἱ δύο ἐξισώσεις, τοῦ ἑξομοιωτοῦ καὶ τοῦ ἀντιδραστήρου, νὰ εἶναι αἱ αὐταὶ διὰ κάθε τιμὴ τῶν μεταβλητῶν. Ἐπομένως τὰ δεύτερα μέλη αὐτῶν θὰ πρέπει νὰ εἶναι ἐκ ταυτότητος ἴσα, δηλαδή:

$$\frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_n 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} \right] \frac{\delta k P}{1} - \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{1}{R_2 \beta} \right] \frac{\beta}{1} P + \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i$$

$$+ \frac{1}{[C_0]} \left[\frac{m \beta \varepsilon R' \theta K \gamma l}{(R' \theta + R \theta) R_4 \alpha} \right] \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P \equiv \frac{\delta k}{1} P + \frac{\beta}{1} P + e^{-B^2 \tau} \sum_{i=1}^6 \lambda_i K_i +$$

$$+ \frac{\alpha (\Theta_x - \Theta_y)}{1} P \quad (58\beta)$$



Διαφορικός ενισχυτής συνεχούς ρεύματος

ΣΧ.14

Όπότε και οι αντίστοιχοι συντελεστές των αγνώστων θα είναι ίσοι μεταξύ των, Δηλαδή:

$$\frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_z 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} \right] \frac{\delta k}{1} = \frac{\delta k}{1}$$

$$\frac{1}{[C_0]} \left[\frac{1}{R_2 \beta} \right] \frac{\beta}{1} = \frac{\beta}{1}$$

$$\frac{1}{[C_0]} \left[\frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} \right] e^{-B^2 \tau} = e^{-B^2 \tau}$$

$$\frac{1}{[C_0]} \left[\frac{m \beta \varepsilon R'_{\theta} K \gamma l}{(R'_{\theta} + R_{\theta}) R_1 \alpha} \right] \frac{\alpha}{1} = \frac{\alpha}{1}$$

και δι' απλοποίησης έχουμε:

$$\frac{A_z 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} = C_0$$

$$\frac{1}{R_2 \beta} = C_0$$

$$\frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} = C_0$$

$$\frac{m \beta \varepsilon R'_{\theta} K \gamma l}{(R'_{\theta} + R_{\theta}) R_1 \alpha} = C_0$$

Εκ τών οποίων τελικώς έχουμε:

$$C_0 = \frac{A_z 1}{R_1 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} = \frac{1}{R_2 \beta} = \frac{A_i 1}{\beta_i R_{3i}} = \frac{m \beta \varepsilon R'_{\theta} K \gamma l}{(R_{\theta} + R'_{\theta}) R_1 \alpha} \quad (59)$$

Εκ τών εξισώσεων (59) δύνανται πλέον εύκολως να προσδιορισθούν αι διάφοροι τιμαί τών σταθερών του κυκλώματος. Θεωρητικώς βεβαίως, θα ηδύναντο να τεθούν οιαδήποτε τιμαί, αρκεί οι διάφοροι όροι τής (59) να είναι ίσοι μεταξύ των. Πρακτικώς όμως τίθενται ώρισμένοι περιορισμοί, λόγω τής διαρροής τών πυκνωτών, τής περιορισμένης τιμής τών ρευμάτων τών λυχνιών τών ενισχυτών κ.λ.π. Ούτω αι τιμαί τών σταθερών πρέπει να είναι και πρακτικώς πραγματοποιήσιμοι και κατάλληλοι, αφού βεβαίως ικανοποιούν και τήν

συνθήκη (59). Εάν ορισθῆ εἰς ὅρος τῆς (59) αὐθαιρέτως, οἱ ἄλλοι δύνανται νὰ ορισθοῦν κατόπιν ἐξ αὐτοῦ.

Τιμὴ πυκνωτοῦ C_0 :

Ὁ πυκνωτὴς δλοκληρώσεως C_0 τίθεται ἴσος πρὸς $0,1 \mu F$ οὕτως ὥστε τὸ ρεῖμα φορτίσεώς του νὰ εὐρίσκεται ἐντὸς τῶν ὁρίων τῶν δυνατοτήτων τῶν λυχνιῶν τοῦ ἐνισχυτοῦ. Τοῦτο προσδιορίζεται πειραματικῶς.

Τιμὴ ἀντιστάσεως R_1 : Ἐκ τῆς (59) ἔχομεν:

$$R_1 = \frac{A_k l}{C_0 \left(1 + 2 \frac{R}{Q}\right) \delta k_{\max}} \quad (60)$$

Τὸ A_k τὸ ὁποῖον παριστᾷ τὴν ἐνίσχυσιν τοῦ καθοδικοῦ ἐνισχυτοῦ (σχ. 3) εἶναι $A_k \approx 1$.

Τὸ l διὰ τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα εἶναι $l = 5,5 \times 10^{-5} \text{ sec.}^*$

Ἡ Q ἐκλέγεται ἴση πρὸς $100 K$, ὁπότε διὰ νὰ εἶναι τὸ δk γραμμικὴ συνάρτησις τοῦ D (βλέπε προσδιορισμὸν D), θὰ πρέπει ἡ R νὰ εἶναι τουλάχιστον $500 K$. Δηλαδή:

$$Q=100 K, \quad R=500 K$$

Τὸ δk_{\max} τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρος διὰ συνήθη διάταξιν τῶν σχεσίμων στοιχείων οὐρανίου εἶναι 6% ἢ $0,06$.

$$\text{Οὕτω ἢ} \quad R_1 = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \left(1 + \frac{2 \times 500}{100}\right) 0,06} \Omega = \frac{5,5}{6 \times 11} 10^4 \Omega = 830 \Omega$$

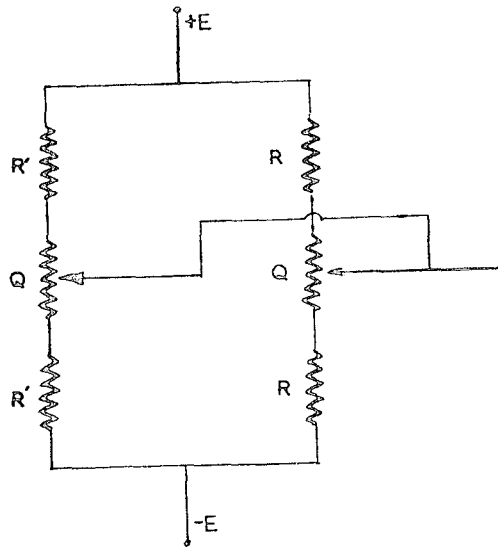
Εἰς τὸν κατασκευασθέντα ἑξομοιωτὴν τίθεται καὶ εἰς ἄλλος κλάδος παραλλήλως τῶν ἀντιστάσεων $R, Q, R, \delta R', Q, R'$, Ὁ κλάδος αὐτὸς παριστᾷ τὴν ἐπίδρασιν τῆς ράβδου λεπτῆς ρυθμίσεως τοῦ ἀντιδραστήρος. Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρος ὑπάρχουν 5 ράβδοι χονδρικῆς ρυθμίσεως καὶ μία ράβδος λεπτῆς ρυθμίσεως.

Ἡ ὅλική ἀξία εἰς δραστηκότητα τῶν ράβδων χονδρικῆς ρυθμίσεως εἶναι περίπου 12% ἐνῶ τῆς ράβδου λεπτῆς ρυθμίσεως εἶναι περίπου $0,6\%$. Δηλαδή 20 φράς μικρότερα. Οὕτω καὶ αἱ ἀντιστάσεις τοῦ παραλλήλου κλάδου πρέ-

*Βλέπε γενικὴν βιβλιογραφίαν [1].

πει να είναι 20πλάσια του R , δια να επιτύχουμε το ως άνω αποτέλεσμα (σχ. 15).

Δηλαδή: $R = 500 \text{ K}\Omega$, $R' = 10\text{M}\Omega$.



Σχ.15

Επίσης εις τόν εξομοιωτήν αυτόν υπάρχει καί σύστημα αλλαγής του δk_{\max} εκτός τῆς τιμῆς τῶν 6%, ἡ ὁποία καί θὰ εἶναι ἡ συνήθης τιμή δια τόν ἀντιδραστήρα. Οὕτω δι' ἑνός μεταγωγῶ εἶναι δυνατόν νά ἀλλάσσουν αἱ ἀντιστάσεις R_1 (σχ. 16). Αἱ νέαι τιμαί τῶν ἀντιστάσεων R_1 υπολογίζονται βάσει μικροτέρων τιμῶν δk_{\max} ὥστε νά ὑπάρχη δυνατότης παρακολουθήσεως καί πλέον ἀργῶν μεταβολῶν.

Αἱ τιμαί αὗται βάσει τῆς ἐξισώσεως (60) εἶναι;

$$R_{1_{0,50/0}} = 10\text{K}\Omega$$

$$R_{1_{10/0}} = 5\text{K}\Omega$$

$$R_{1_{60/0}} = 830 \Omega$$

Τιμή ἀντιστάσεως R_2 :

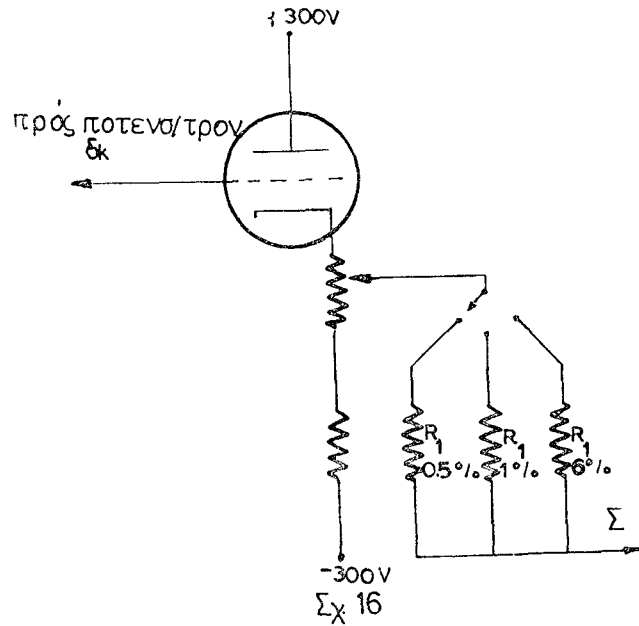
$$\text{Ἐκ τῆς (59) ἔχομεν: } R_2 = \frac{1}{C_0 \beta}$$

Τὸ $\beta = 0,0075$ (διὰ 6 ὁμάδας καθυστερημένων νετρονίων, ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τοῦ πίνακος I), ἄρα.

$$R_2 = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 7,5 \times 10^{-3}} \Omega = 73 \text{ K}\Omega$$

Τιμαὶ ἀντιστάσεων R_{3i} :

Ἐκ τῆς (59) ἔχομεν: $R_{3i} = \frac{A_i I}{C_o \beta_i}$



Εἰς τοὺς χρησιμοποιηθέντας καθοδικοὺς ἐνισχυτὰς τὸ $A_i \simeq 1$
 Αἱ τιμαὶ τῆς β_i ἐξαρτῶνται ἐκ τῆς ομάδος καθυστερημένων νετρονίων,
 τὴν ὁποίαν λαμβάνομεν (βλέπε πίνακα I). Οὕτω ἔχομεν:

1η ομάδα:

$$R_{3-1} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 2,5 \times 10^{-4}} \Omega = 2,2 \text{ M}\Omega$$

2α ομάδα:

$$R_{3-2} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 8,4 \times 10^{-4}} \Omega = 6,55 \text{ K}\Omega$$

3η ομάδα:

$$R_{3-3} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 2,1 \times 10^{-3}} \Omega = 229 \text{ K}\Omega$$

4η ομάδα:

$$R_{3-4} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 2,1 \times 10^{-3}} \Omega = 262 \text{ K}\Omega$$

5η ομάδα:

$$R_{3-5} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 1,7 \times 10^{-3}} \Omega = 330 \text{ K}\Omega$$

6η ομάδα:

$$R_{3-6} = \frac{5,5 \times 10^{-5}}{10^{-7} \times 2,6 \times 10^{-4}} \Omega = 2,1 \text{ M}\Omega$$

Τιμή αντίστασεως R_1 : Έκ τῆς (59) ἔχομεν:

$$R_1 = \frac{m\beta\gamma\epsilon R'\theta K1}{(R'\theta + R\theta)C_0 a} \quad (61)$$

Αἱ τιμαὶ τῶν διαφορῶν σταθερῶν εἶναι αἱ ἑξῆς:

$$m = 250, \text{ ἔκ τοῦ σχ. 12}$$

$$\beta = 0,71, \text{ ἔκ τοῦ σχ. 7}$$

$$\gamma = 1,8 \times 10^{-3} \text{ ἔκ τοῦ σχ. 9}$$

$$\epsilon = 50 \frac{V}{MW} = 5 \times 10^{-5} \frac{V}{W}$$

Τὸ ϵ ὁρίζεται κατὰ τοιοῦτον τρόπον, ὥστε διὰ μέγιστην ἔξοδον τοῦ ἐνισχυτοῦ ἴσην πρὸς 100 V (ἕως τὴν τιμὴν αὐτὴν τῆς τάσεως ἢ ἀπόδοσις τοῦ ἐνισχυτοῦ εἶναι ἱκανοποιητικὴ καὶ τὰ δυναμικὰ +E καὶ -E μεταβάλλονται συμμετρικῶς), ἡ ἔνδειξις τοῦ ὀργάνου στάθμης ἰσχύος νὰ δεικνύη 2 MW, ἡ ὁποία καὶ ἀντιστοιχεῖ εἰς πλήρη ἀπόκλισιν τῆς βελόνης τοῦ ὀργάνου. Ἡ τιμὴ αὐτὴ τῶν 2 MW εἶναι ἱκανοποιητικὴ, δεδομένου ὅτι ἡ κανονικὴ μέγιστη ἰσχὺς λειτουργίας τοῦ ἀντιδραστήρου εἶναι 1 MW.

Ἡ R'_θ προσδιορίζεται ἐκ τοῦ τύπου (48):

$$\frac{C_x}{K} = \frac{R_\theta R'_\theta C}{R_\theta + R'_\theta}$$

ἔνθα C_x = ὀλική θερμοχωρητικότης καυσίμων στοιχείων καὶ K = συντελεστής μεταφορᾶς θερμότητος.

Λιὰ τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα:

$$C_x = 0,033 \frac{\text{MW} \cdot \text{sec}}{^\circ\text{C}} = 7,9 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

$$K = 0,050 \frac{\text{MW}}{^\circ\text{C}} = 5 \times 10^4 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}$$

ἄρα $\frac{R_\theta R'_\theta C}{R_\theta + R'_\theta} = 0,65$, ἢ R_θ ἐκλέγεται ὥς $R_\theta = 10 \text{ M}\Omega$, ὁπότε $R'_\theta =$

$$\frac{0,65 R_\theta}{R_\theta C - 0,65} \text{ καὶ ἂν } C = 1 \mu\text{F} \text{ ἢ } R'_\theta \text{ εὐρίσκεται ἴση πρὸς } 700\text{K}.$$

Εἰς τὸν ἐν λόγω ἕξομοιωτὴν ὑπάρχει εὐχέρεια μελέτης τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ἀντιδραστήρος δι' ἠϋξημένην θερμοχωρητικότητα τῶν καυσίμων στοιχείων, διὰ προσθέσεως δι' εἰδικῶ διακόπτου καὶ δύο ἄλλων χωρητικότητων $C' = 1 \mu\text{F}$ καὶ $C'' = 2 \mu\text{F}$ παραλλήλως τῆς C ὁπότε ἡ ὀλική θερμοχωρητικότης τῶν καυσίμων στοιχείων μεταβάλλεται ἀντιστοίχως εἰς

$$C'_x = 1,6 \times 10^4 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \text{ καὶ } C''_x = 3,1 \times 10^4 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

$$l = 5,5 \times 10^{-5} \text{ sec}$$

$$C_o = 0,1 \mu\text{F}$$

$$a = 1,22 \times 10^{-1} \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{ (διὰ τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα)*}$$

Ἀντικαθιστῶντες τὰς τιμὰς αὐτὰς εἰς τὴν ἐξίσωσιν (61) ἔχομεν διὰ τὴν

$$R_1 = \frac{2,5 \times 0,71 \times 1,8 \times 5 \times 7 \times 5 \times 5,5}{10,7 \times 1,22} \times 10^3 \Omega = 240 \text{ K}\Omega$$

* Βλέπε: AMF Atomic, Reactor Core Physics

Ἐκ τῆς (41) ἔχομεν: $\frac{1}{r_i c_i} = \lambda_i$

Αἱ διάφοροι τιμαὶ τῶν λ_i διὰ τὰς διαφόρους ομάδας ἀναφέρονται εἰς τὸν πίνακα I. Εἰς τὴν ἐξίσωσιν αὐτήν, ἐὰν ὀρίσωμεν τὰς τιμὰς τῶν c_i αἱ τιμαὶ τῶν r_i ὀρίζονται αὐτομάτως ἐκ τῶν c_i καὶ λ_i .

Π Ι Ν Α Κ Ε Ι.

Σταθεραὶ καθυστερημένων νετρονίων χρησιμοποιηθεῖσαι διὰ τὸν ἑξομοιωτὴν			
Ὅμας	Μέσος χρόνος ζωῆς t_i sec	Σταθερὰ διασπάσεως $\lambda_i = \frac{1}{t_i}$ sec ⁻¹	Ποσοστὸν ἐκ τοῦ ὀλικοῦ ἀριθμοῦ νετρονίων β_i
1η	0,071	14,084	0,00025
2α	0,62	1,612	0,0,084
3η	2,19	0,456	0,00240
4η	6,50	0,153	0,00210
5η	31,70	0,031	0,00170
6η	80,20	0,012	0,00026
$\sum_{i=1}^6 \beta_i = \beta = 0,00755$			

1η ὁμάς:

$$c_1 = 1\text{pF}$$

$$r_1 = 71 \text{ K}\Omega$$

2α ὁμάς:

$$c_2 = 1\text{pF}$$

$$r_2 = 620 \text{ K}\Omega$$

3η ὁμάς:

$$c_3 = 1\text{pF}$$

$$r_3 = 2,19 \text{ M}\Omega$$

4η ὁμάς:

$$c_4 = 1\text{pF}$$

$$r_4 = 6,5 \text{ M}\Omega$$

5η ὁμάς:

$$c_5 = 1\text{pF}$$

$$r_5 = 15,8 \text{ M}\Omega$$

6η ὁμάς:

$$c_6 = 2\text{pF}$$

$$r_6 = 40,1 \text{ M}\Omega$$

Υπολογισμός κυκλώματος περιόδου

Ο απαιτούμενος χρόνος, ίνα ή ισχύς του αντιδραστήρος αυξηθῆ κατά τὸν παράγοντα e καλεῖται περίοδος T αντιδραστήρος, πράγματι, ἐάν εἰς τὸν τύπον:

$$P_t = P_o e^{\frac{t}{T}} \quad (62)$$

ὅστις δίδει τὴν ισχὴν τοῦ αντιδραστήρος P_t μετὰ χρόνον t ($P_o =$ ισχύς διὰ $t = 0$, $T =$ περίοδος αντιδραστήρος), ἀντικαταστήσωμεν τὸ t διὰ T , ἔχομεν:

$$P_t = P_o e$$

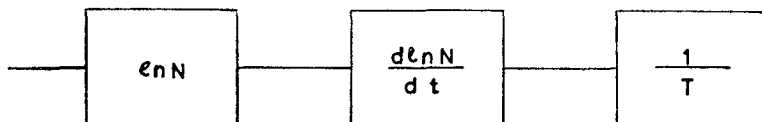
Διὰ λογαριθμῆσεως τῆς (62) λαμβάνομεν:

$$\ln P = \ln P_o + \frac{t}{T}$$

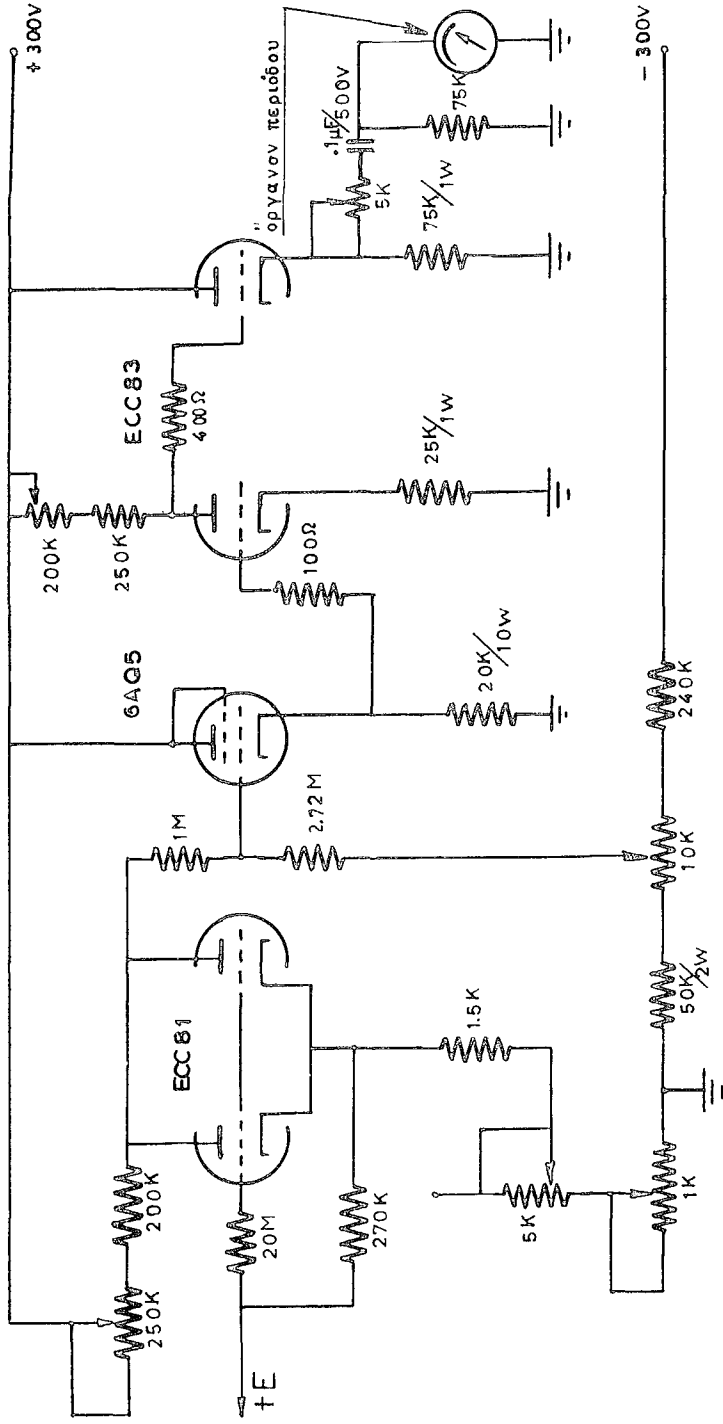
Διὰ διαφορίσεως δὲ ταύτης, λαμβάνομεν:

$$\frac{d \ln P}{dt} = \frac{1}{T} \quad (63)$$

Τοιοιουτρόπως διὰ κατασκευῆς ἑνὸς κυκλώματος λογαριθμῆσεως, τὸ ὁποῖον νὰ λογαριθμίζῃ τὸ σῆμα P , τὸ λαμβανόμενον ἐκ τῆς ἐξόδου τοῦ ἐνισχυτοῦ καὶ διὰ ἐν συνεχείᾳ διαφορίσεως τοῦ σήματος αὐτοῦ (σχ. 17), λαμβάνομεν τελικῶς σῆμα ἀντιστρόφως ἀνάλογον τῆς περιόδου. Ἐὰν τὸ σῆμα αὐτὸ ὀδηγηθῆ εἰς ἓν ὄργανον, τότε διὰ περίοδον $T = \infty$ ἢ ὁποῖα ἀντιστοιχεῖ εἰς συνθήκας κρίσιμου λειτουργίας τοῦ αντιδραστήρος (δηλαδὴ δὲν παρατηρεῖται οὐδεμία μεταβολὴ τῆς ισχύος), θὰ ἔχομεν:



Σχ. 17



Κύκλωμα περιόδου

Σχ. 18

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\infty} = 0$$

Δηλαδή τὸ ὄργανον θὰ δεικνύη 0. Ἐὰν ὅμως ἔχωμεν θετικὴν ἢ ἀρνητικὴν μεταβολὴν τοῦ P (δηλαδή αὐξήσιν ἢ ἐλάττωσιν), τότε καὶ τὸ $\frac{1}{T}$ θὰ ἔχη πεπερασμένην τιμὴν, ἢ ὁποία θὰ δεικνύεται ἐπὶ τοῦ ὄργανου τῆς περιόδου (βλ. βαθμονόμησιν ἑξομοιωτοῦ).

Τὸ πλήρες κύκλωμα τῆς περιόδου παρίσταται εἰς τὸ σχ. 18.

Λόγω τοῦ ὅτι τὸ λαμβανόμενον ἐκ τοῦ κυκλώματος λογαριθμῆσεως σῆμα εἶναι ἀσθενές, παρεμβάλλεται καὶ μία βαθμὴ ἐνισχύσεως τοῦ σήματος, ὥστε ἢ παρεχομένη ἕξοδος νὰ εἶναι ἰκανὴ πρὸς διέγευσιν τοῦ ὄργανου περιόδου.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Μετά τὸν ὑπολογισμὸν τῶν διαφορῶν ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων τοῦ ἔξομοιωτοῦ εἶναι δυνατὴ ἡ τελικὴ κατασκευὴ τῆς συσκευῆς.

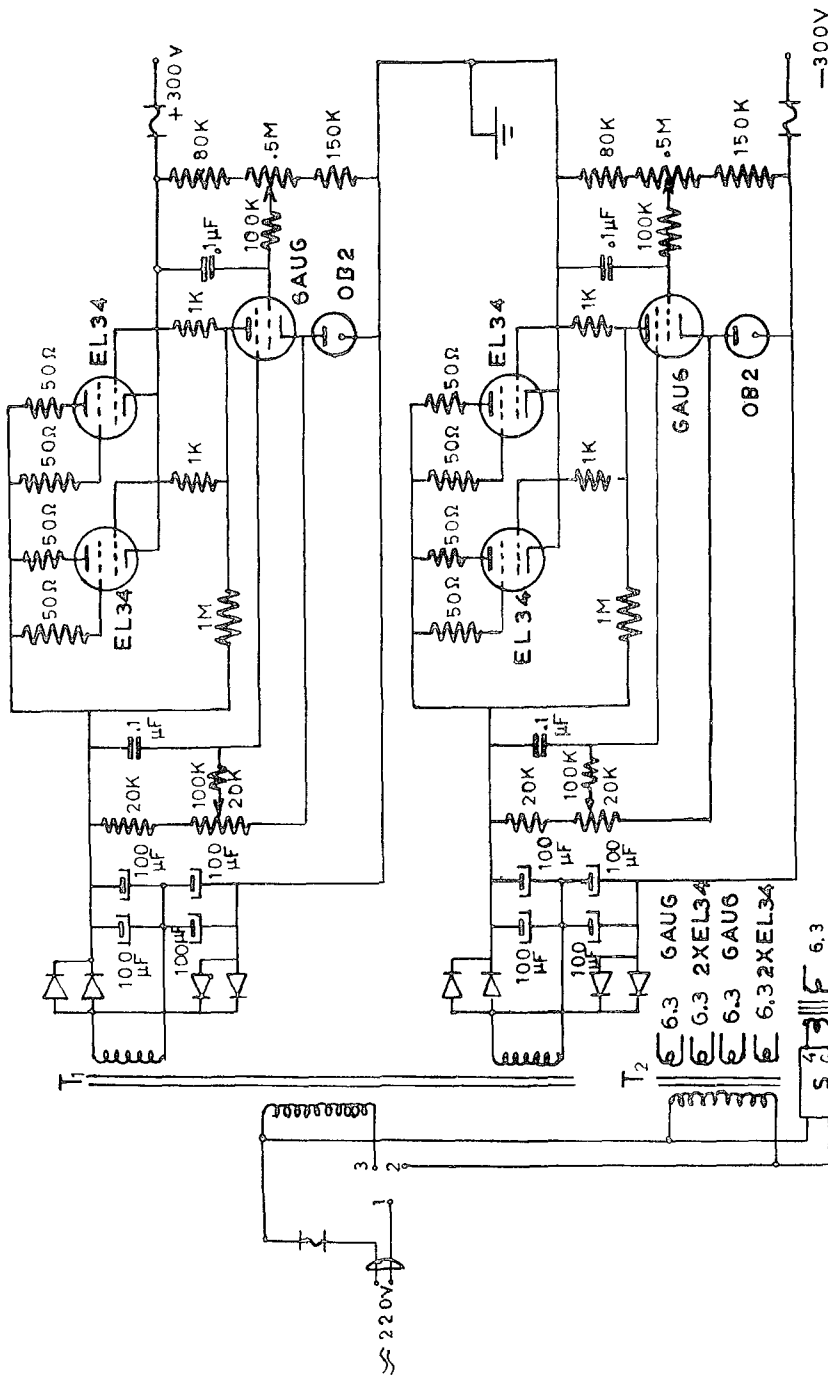
Ἰδιαιτέρως μέρημα δέον νὰ ληφθῆ διὰ τὴν ἐξασφάλισιν σταθερῶν ἠλεκτρικῶν πηγῶν συνεχῶν τάσεων, τόσον $+300\text{ V}$ καὶ -300 V , ὅσον καὶ τάσεως θερμάνσεως $6,3\text{ V}$, διὰ τὴν ἀποφυγὴν ἀνωμαλιῶν, ἰδίως τοῦ ἐνισχυτοῦ.

Ἡ σταθεροποίησις τῶν $6,3\text{ V}$ πραγματοποιεῖται δι' ἐνὸς σταθερωτοῦ ἐναλλασσομένης τάσεως, ὃ ὁποῖος ἐξουδετερώνει τὴν μεταβολὴν τῆς τάσεως τοῦ δικτύου καὶ ἐν συνεχείᾳ δι' ἐνὸς ἀπλοῦ μετασχηματιστοῦ $220\text{V}/6,5\text{V}$

Ἡ ἐξασφάλισις συνεχοῦς σταθερᾶς τάσεως $+300\text{ V}$ καὶ -300 V ἐπιτυγχάνεται ἠλεκτρονικῶς.

Τὸ σχῆμα 19 παριστᾷ τὸ πλήρες κύκλωμα τοῦ τροφοδοτικοῦ συστήματος.

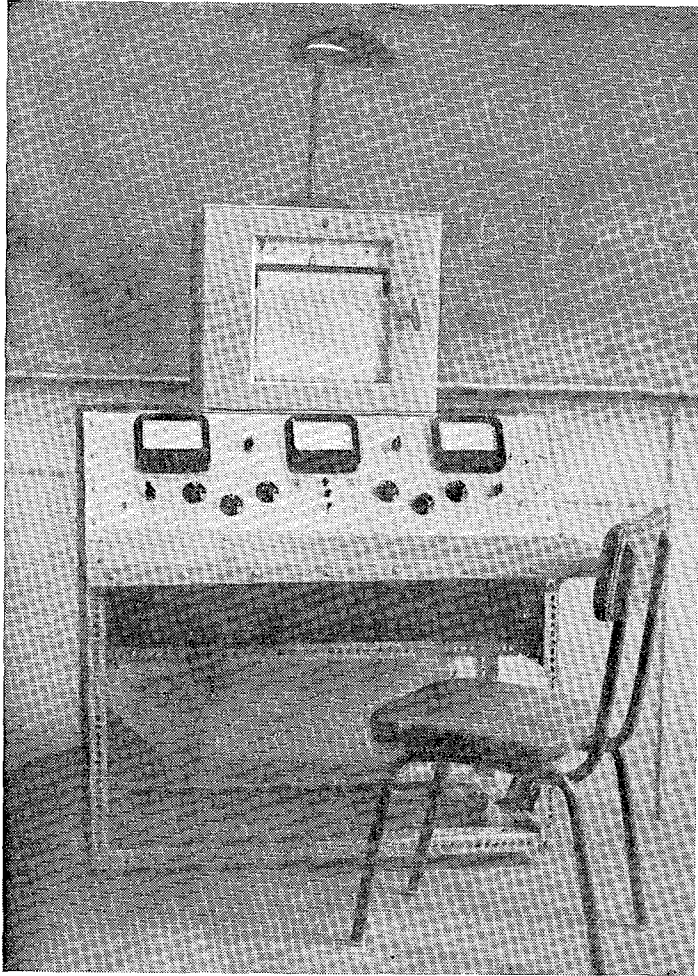
Διὰ τὴν κατασκευὴν τοῦ ἔξομοιωτοῦ ἐχρησιμοποιήθησαν 3 διαφορετικὰ πλαίσια, ἐν διὰ τὸ κύκλωμα θερμοκρασίας καὶ περιόδου, ἐν διὰ τὸ τροφοδοτικὸν σύστημα καὶ ἐν διὰ τὰ ὑπόλοιπα κυκλώματα (καθυστερημένα νετρόνια, πηγὴ κ.λ.π.) καὶ τὸν ἐνισχυτήν. Ἡ ὅλη διάταξις ἔχει λάβει ἐξωτερικῶς τὴν μορφήν τοῦ σχήματος 20.



Τροφοδοτικών σύστημα

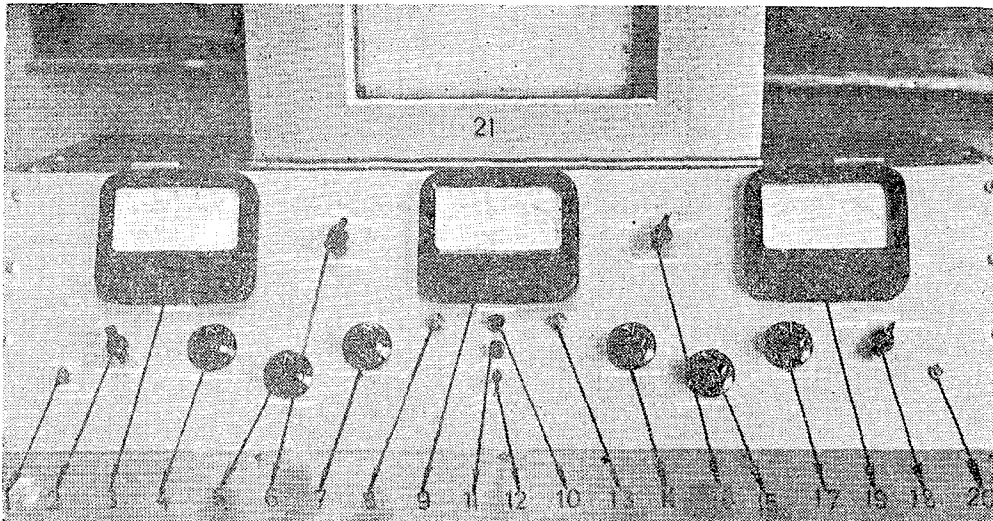
ΣΧ.19

Σταθερωτής τάσεως



Σχ. 20

Εἰς τὴν πρόσοψιν τοῦ ἑξομοιωτοῦ ὑπάρχουν τὰ κάτωθι ὄργανα καὶ κομ-
βία, σχ. 21



Σχ. 21

- 1 Διακόπτης ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως
- 2 Ποτενσιόμετρον ροῆς ψυκτιζοῦ
- 3 Ὅργανον θερμοκρασίας
- 4 Ποτενσιόμετρον Λα
- 5 Διακόπτης ταχυτήτων κινητήρος
- 6 Διακόπτης δk_{max}
- 7 Ποτενσιόμετρον χονδροειῆς ρυθμίσεως
- 8 Ἐνδεικτικὸς λαμπτήρ +300V
- 9 Ὅργανον ἰσχύος
- 10 Ἐνδεικτικὸς λαμπτήρ 6,3V
- 11 Κομβίον ἐπαναφορᾶς
- 12 Διακόπτης κινητήρος
- 13 Ἐνδεικτικὸς λαμπτήρ -300V
- 14 Ποτενσιόμετρον λεπτῆς ρυθμίσεως
- 15 Ποτενσιόμετρον πηγῆς
- 16 Διακόπτης περιοχῶν ὄργανου ἰσχύος
- 17 Διακόπτης περιόδου, +E, +300V, -300V
- 18 Διακόπτης τροφοδοσίας τάσεων
- 19 Ὅργανον περιόδου
- 20 Διακόπτης ἐνισχυτοῦ συνεχοῦς τάσεως
- 21 Ἐλεκτρονικὸς καταγραφεὺς

4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Ὁ ἐξομοιωτὴς περιλαμβάνει καὶ ὠρισμένα βοηθητικὰ ἐξαρτήματα διὰ τὴν καλυτέραν λειτουργίαν αὐτοῦ καὶ τὴν δυνατότητα λήψεως περισσοτέρων μετρήσεων.

Τὰ ἐξαρτήματα ταῦτα εἶναι:

α) Εἷς κινητὴρ δυνάμενος νὰ περιστέφεται διὰ χειρισμοῦ ἑνὸς διακόπτου εἴτε κατὰ τὴν μίαν εἴτε κατὰ τὴν ἄλλην φοράν. Ὁ κινητὴρ αὐτὸς εἶναι ὀλιγόστροφος, ἔχει δὲν τὴν δυνατότητα ρυθμίσεως τῶν στροφῶν του ἀπὸ 1 στροφή ἀνὰ 100 sec ἕως 1 στροφή ἀνὰ 15 sec, δι' ἑνὸς διακόπτου, ὃ ὁποῖος ἀλλάσσει τὴν τάσιν τροφοδοτήσεώς του.

Ὁ κινητὴρ αὐτὸς συνδέεται διὰ τοῦ δκ ποτενσιομέτρου χονδρικῆς ρυθμίσεως. Τοιοῦτοτρόπως παρέχεται ἡ εὐχέρεια κινήσεως τοῦ ποτενσιομέτρου τούτου ὁμοιομόρφως κατ' ἀμφοτέρας τὰς φοράς, ὡς ἀκριβῶς συμβαίνει καὶ μὲ τὰς ράβδους ἐλέγχου εἰς τὸν ἀντιδραστήρα.

β) Εἷς ἠλεκτρονικὸς καταγραφεὺς, ὃ ὁποῖος συνδέεται παραλλήλως πρὸς τὸ ὄργανον ἐνδείξεως ἰσχύος P καὶ διὰ τοῦ ὁποίου λαμβάνεται ἡ γραφικὴ παράστασις τῆς μεταβολῆς τῆς ἰσχύος μετὰ τοῦ χρόνου.

γ) Τέλος, τὸ ὄργανον περιόδου, δύναται δι' εἰδικοῦ διακόπτου νὰ συνδέεται ἢ μὲ τὸ +300V ἢ μὲ τὸ —300V πρὸς ἔλεγχον τῆς ἀκριβείας τῆς ἀνοδικῆς τάσεως τῶν λυχνιῶν. Ἐπίσης συνδέεται διὰ τοῦ +P, ὥστε κατὰ τὴν ἀρχὴν τῆς λειτουργίας τοῦ ἐξομοιωτοῦ νὰ ἐξακριβοῦται ἡ ὑπαρξίς θετικοῦ σήματος E.

Πρὸς ἑναρξιν τῆς λειτουργίας τοῦ ἐξομοιωτοῦ περιστρέφεται κατ' ἀρχὴν ὁ γενικὸς διακόπτης τροφοδοτήσεως, ὁπότε αἱ διάφοροι λυχνίαι τροφοδοτοῦνται πρῶτον διὰ χαμηλῆς καὶ κατόπιν δι' ὑψηλῆς τάσεως. Κατόπιν διὰ τῆς πηγῆς δίδεται ὀλίγον θετικὸν σῆμα, ὥστε νὰ παρουσιασθῇ μία μικρὰ ἔνδειξις ἐπὶ τοῦ ὄργανου ἰσχύος καὶ ἐν συνεχείᾳ τίθεται ἐν λειτουργίᾳ (διὰ τοῦ κινητήρος ἢ διὰ τῆς χειρὸς) τὸ ποτενσιόμετρον δκ πρὸς αὔξησιν τῆς ἰσχύος. Ἡ αὔξησις τῆς ἰσχύος δύναται νὰ σταματήσῃ εἰς οἰανδήποτε ἐπιθυμητὴν στάθμην δι' ἐπαναφορᾶς τοῦ ποτενσιομέτρου δκ εἰς τὴν θέσιν τὴν ἀν-

τιστοιχοῦσαν εἰς δk ἴσον πρὸς μηδέν. Ὁ ἠλεκτρονικὸς καταγραφεὺς δύναται νὰ τίθεται ἐν λειτουργίᾳ δι' ἀνεξαρτήτου διακόπτου.

Προκειμένου νὰ ἐπανέλθῃ ὁ ἕξομοιωτὴς εἰς τὴν θέσιν μηδενικῆς ἰσχύος ἀπαιτεῖται ὁρισμένον χρονικὸν διάστημα (ἀντιστοιχοῦν εἰς τὸν χρόνον ἐμφανίσεως τῶν διαφόρων ομάδων καθυστερημένων νετρονίων μετὰ τὴν τελευταίαν σχάσιν) λόγῳ τοῦ ὅτι οἱ πυκνωταὶ οἱ τοποθετημένοι εἰς τὰ κυκλώματα καθυστερημένων νετρονίων ἐκφορτίζονται μέσω μεγάλων ἀντιστάσεων (τῆς τάξεως τῶν $M\Omega$). Πρὸς ἀποφυγὴν καθυστέρησεως προβλέπεται ἐν κομβίῳ (ἐπαναφορᾶς), διὰ πίεσεως τοῦ ὁποίου προσγειοῦνται πρὸς στιγμὴν οἱ πυκνωταὶ οὗτοι καὶ ἡ ἰσχύς μηδενίζεται.

5. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΙΣ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Πρὸ τῆς λήψεως μετρήσεων διὰ τοῦ ἑξομοιωτοῦ, εἶναι ἀπαραίτητον νὰ γίνῃ ἡ βαθμονόμησις τῶν διαφόρων ὀργάνων καὶ ποτενσιόμετρων αὐτοῦ, ὥστε αἱ ἐνδείξεις των νὰ ἀνταποκρίνονται εἰς πραγματικὰς τιμὰς τοῦ ἀντιδραστήρου.

Ἡ βαθμονόμησις τοῦ ἑξομοιωτοῦ ἀπαιτεῖ λίαν προσεκτικὴν καὶ λεπτὴν ἐργασίαν, διότι μία κακὴ βαθμονόμησις θὰ ἔδιδε λανθασμένα ἀποτελέσματα, δι' ὅλας τὰς περαιτέρω μετρήσεις. Αἱ ἀκολουθηθεῖσαι μέθοδοι βαθμονομήσεως τῶν διαφόρων ὀργάνων ἐνέχουν τὴν πρωτοτυπίαν, ὅτι εἶναι ἀπλάϊ, χωρὶς ὅμως νὰ στεροῦνται ἀκριθείας, ὡς ἐκ τῶν ἀποτελεσμάτων ἐμφαίνεται, εἶναι δὲ εἰς ὠρισμένας περιπτώσεις ἀνάλογοι τῶν μεθόδων, αἱ ὁποῖαι θὰ χρησιμοποιηθοῦν εἰς τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα, βασιζόμεναι εἰς ἐξισώσεις, αἱ ὁποῖαι ἰσχύουν διὰ τὸν πραγματικὸν ἀντιδραστήρα, ἀλλὰ δύνανται νὰ ἐπεκταθοῦν καὶ εἰς τὸν ἑξομοιωτήν.

Βαθμονόμησις ποτενσιόμετρων δk

Ἡ βαθμονόμησις ἀντιστοιχεῖ εἰς $\delta k_{\max} = 0,5\%$. Ἀλλὰ ἡ αὐτὴ μέθοδος ἰσχύει καὶ διὰ τὰ ἄλλα δk .

α) Ποτενσιόμετρον χονδρικῆς ρυθμίσεως: Ὡς ἐλέγχθη, ὑπάρχουν δύο ποτενσιόμετρα δk . Ἐν χονδρικῆς ρυθμίσεως, ἀντιστοιχοῦν εἰς τὰς πέντε ράβδους χονδρικῆς ρυθμίσεως καὶ ἓν λεπτῆς ρυθμίσεως, ἀντιστοιχοῦν εἰς τὴν ράβδον λεπτῆς ρυθμίσεως.

Τὰ ποτενσιόμετρα ταῦτα εἰσάγουν ἐντὸς τοῦ ἑξομοιωθέντος ἀντιδραστήρου, ὡς καὶ αἱ ράβδοι ἐλέγχου, ἀρνητικὴν ἢ θετικὴν δραστηκότητα δk . Ἐπομένως ἀναπαριστοῦν πλήρως τὰς ράβδους ἐντὸς τοῦ ἀντιδραστήρου.

Ἡ μεσαία θέσις τοῦ ποτενσιομέτρου (θέσις 5 ἐπὶ τῆς ἀντιγωγῆς) ἀντιστοιχεῖ εἰς $\delta k = 0$, δηλαδή μεταφερόμενοι εἰς τὸν ἀντιδραστήρα, εἶναι ἡ θέσις τῶν ράβδων διὰ τὴν ὁποίαν ὁ ἀντιδραστήρ εἶναι ἀκριβῶς κρίσιμος. Λεξιά τοῦ σημείου αὐτοῦ ἔχομεν $\delta k > 0$ καὶ ἀριστερὰ αὐτοῦ $\delta k < 0$ πρᾶγμα τὸ ὁποῖον εἰς τὸν πραγματικὸν ἀντιδραστήρα ἀντιστοιχεῖ ἢ εἰς ἐξαγωγήν τῶν ράβδων ἄνωθεν τοῦ κρίσιμου σημείου, ὁπότε εἰσάγεται θετικὴ δραστηριότης ἢ εἰς εἰσαγωγήν τῶν ράβδων ἐντὸς τῶν καυσίμων στοιχείων, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ εἰς εἰσαγωγήν ἀρνητικῆς δραστηριότητος. Ἡ διὰ κάθε θέσιν τοῦ ποτενσιομέτρου ἀντιστοιχοῦσα δραστηριότης εὐρίσκεται ὡς ἑξῆς:

Κατ' ἀρχὴν φέρεται ὁ ἔξομοιωτὴς εἰς συνθήκας κρίσιμότητος (ἀμφότεροι οἱ δείκται τῶν ποτενσιομέτρων εἰς τὴν θέσιν 5 ἐπὶ τῆς ἀντιγωγῆς). Κατόπιν δίδεται εἰς τὸ ποτενσιόμετρον τὸ ἀντιστοιχοῦν εἰς τὴν ράβδον χονδρική ρυθμίσεως μία περιστροφή ἕως ὅτου ὁ δείκτης τοῦ ποτενσιομέτρου φθάσει εἰς τὴν θέσιν 6 ἐπὶ τῆς ἀντιγωγῆς, ἐνῶ τὸ ποτενσιόμετρον τὸ ἀντιστοιχοῦν εἰς τὴν ράβδον λεπτῆς ρυθμίσεως παραμένει εἰς τὴν θέσιν 5.

Ἡ ἰσχὺς τοῦ ἔξομοιωτοῦ αὐξάνει καὶ μετρεῖται ὁ χρόνος t ὁ ἀντιστοιχοῦν εἰς διπλασιασμὸν τῆς ἰσχύος. Ἐκ τῆς (62) δυνάμεθα νὰ λάβωμεν:

$$\frac{P}{P_0} = 2 = e^{\frac{t}{T}} \quad \text{καὶ} \quad T = \frac{t}{\ln 2} = 0,694 \cdot t$$

Τοιοῦτοτρόπως εὐρίσκεται ἡ περίοδος ἡ ἀντιστοιχοῦσα εἰς τὸ δοθὲν ἄγνωστον δk . Ἐκ τῆς καμπύλης κατόπιν, ἡ ὁποία εἶναι χαραγμένη διὰ τὸν

Π Ι Ν Α Κ Η

Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρου χονδρική ρυθμίσεως				
Θέσις πο- τεν. χονδρ. ρυθμίσεως	Θέσις πο- τεν. λεπτ. ρυθμίσεως	t sec	T sec	δk o/o
5	5	—	—	0
6	5	30,5	44	0,12
7	5	15,5	22	0,18
8	5	9,5	14	0,23
9	5	5,2	7,5	0,32
10	5	3,8	5,5	0,39



Ἑλληνικὸν ἀντιδραστῆρα με $I=5,5 \cdot 10^{-5}$ sec καὶ ἡ ὁποία ὑπολογίζεται βάσει τῆς «*inhour*» ἔξισώσεως, εὐρίσκεται τὸ ἀντίστοιχον δk (σχ. 22).

Κατόπιν ὁ ἔξομοιωτῆς ἐπαναφέρεται εἰς συνθήκας κρισιμότητος καὶ ἐπιλαμβάνεται τὸ αὐτὸ διὰ διαφορετικὰς θέσεις τοῦ δείκτου τοῦ ποτενσιόμετρον ἐπὶ τῆς ἀντυγος, μέχρι τῆς πλήρους βαθμονόμησεως τοῦ ποτενσιόμετρον, ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῆς καμπύλης σχ. 23 τῆς χαραχθείσης βάσει τῶν τιμῶν τοῦ πίνακος II.

β) Ποτενσιόμετρον λεπτῆς ρυθμίσεως:

Ἡ βαθμονόμησις τοῦ ποτενσιόμετρον τοῦ ἀντιστοιχοῦντος εἰς τὴν ῥάβδον λεπτῆς ρυθμίσεως, εἶναι ἀνάλογος τῆς τοῦ ποτενσιόμετρον χονδροεικοῦ ρυθμίσεως (βλ. πίνακα III καὶ σχ. 24).

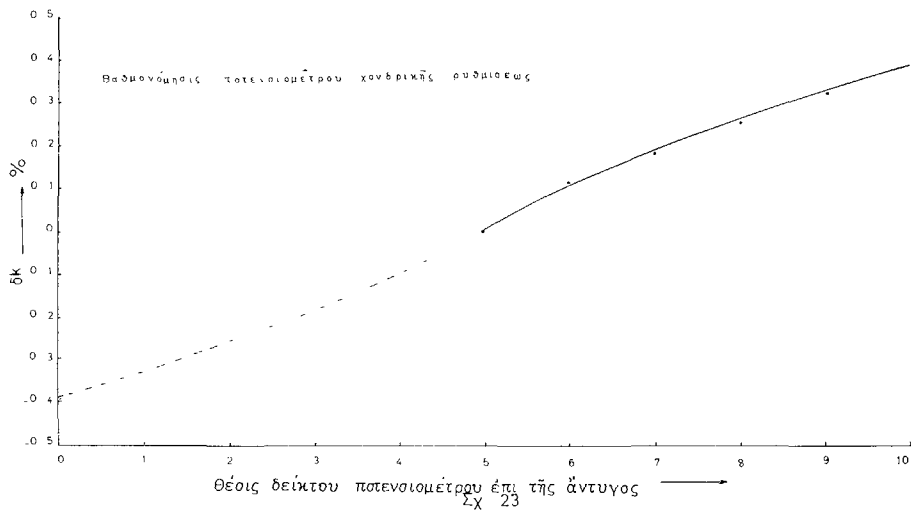
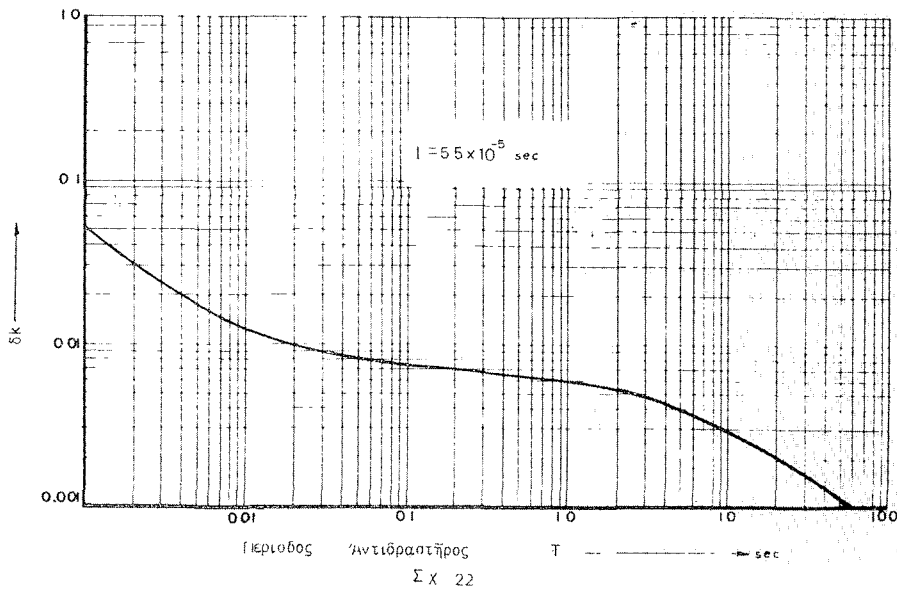
Π Ι Ν Α Κ Ε Ι Ι Ι

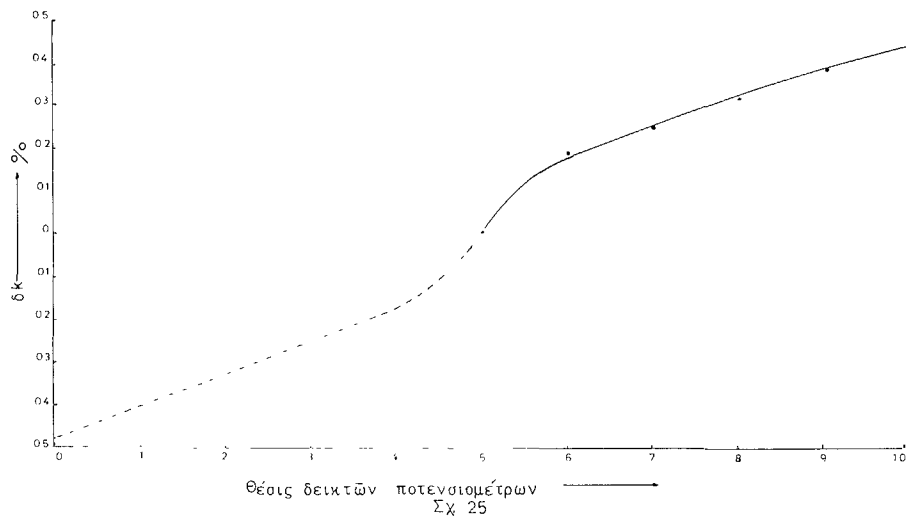
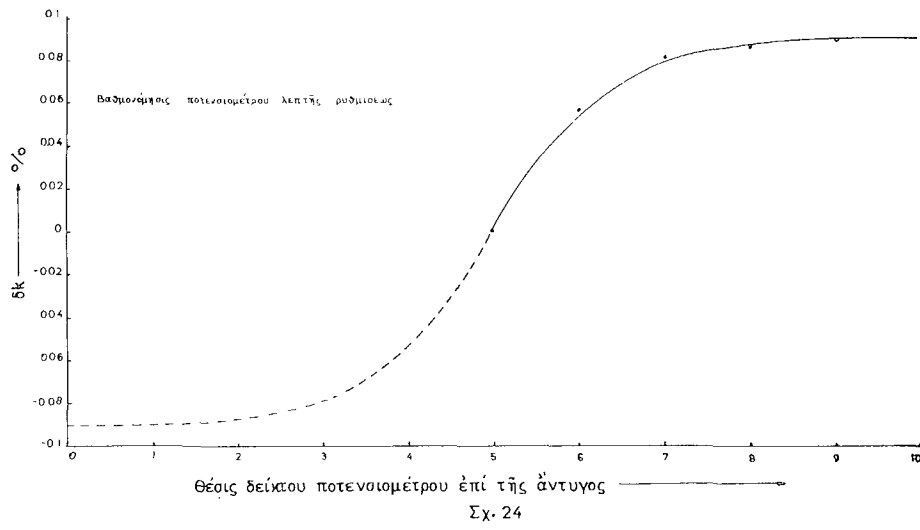
Βαθμονόμησις ποτενσιόμετρον λεπτῆς ρυθμίσεως				
Θέσις ποτεν λεπτ. ρυθμίσεως	Θέσις ποτεν. χονδρ. ρυθμίσεως	t sec	T sec	δk o/o
5	5	—	—	0
6	5	90	130	0,055
6	5	66	95	0,073
8	5	55	79	0,085
9	5	53	76,5	0,087
10	5	52	75	0,090

Ἡ καμπύλη τοῦ σχήματος (25) παριστᾷ τὴν δραστηριότητα ἀμφοτέρων τῶν ποτενσιόμετρον ὡς συνάρτησιν τῆς θέσεως αὐτῶν ἐπὶ τῆς ἀντυγος δταν οἱ δείκται αὐτῶν μεταβάλλονται συγχρόνως κατὰ τὴν αὐτὴν ποσότητα καὶ προκύπτει δι' ἀθροίσεως τῶν (23) καὶ (24).

Βαθμονόμησις ὄργανου ἰσχύος

Τὸ ὄργανον ἰσχύος βαθμονομεῖται τῇ βοηθειᾷ τῆς ἔξισώσεως $P = \frac{E}{\epsilon}$
(ἐνθα $\epsilon = 50 \frac{V}{MW}$) διὰ μετρήσεως τῶν διαφορῶν τάσεων ἐξόδου E τοῦ ἐνισχυ





τοῦ εἰς διαφόρους στάθμιας ἰσχύος. Ὁ ἠλεκτρονικὸς καταγραφεὺς, ὁ ὁποῖος τίθεται παραλλήλως πρὸς τὸ ὄργανον ἰσχύος βαθμονομεῖται ὁμοίως.

Δι' ἑνὸς πολλαπλοῦ διακόπτου, διὰ τοῦ ὁποῖου τίθενται διάφοροι συνδυασμοὶ ἀντιστάσεων ἐν σειρᾷ πρὸς τὸ ὄργανον ἰσχύος καὶ τὸν ἠλεκτρονικὸν καταγραφεὺν, πραγματοποιοῦνται τέσσαρες περιοχαὶ τῶν ὀργάνων αὐτῶν, ἀντιστοιχοῦσαι εἰς 200 KW, 1 MW, 2 MW καὶ 4 MW (διὰ πλήρη ἀπόκλιση τῶν ὀργάνων).

Βαθμονόμησις ὀργάνου θερμοκρασίας

Ἡ βαθμονόμησις τοῦ ὀργάνου αὐτοῦ πραγματοποιεῖται τῇ βοηθείᾳ τῆς ἐξίσωσως (47). Τὴν ἐξίσωσιν ταύτην ἐπιλύοντες ὡς πρὸς Θ_x ἔχομεν:

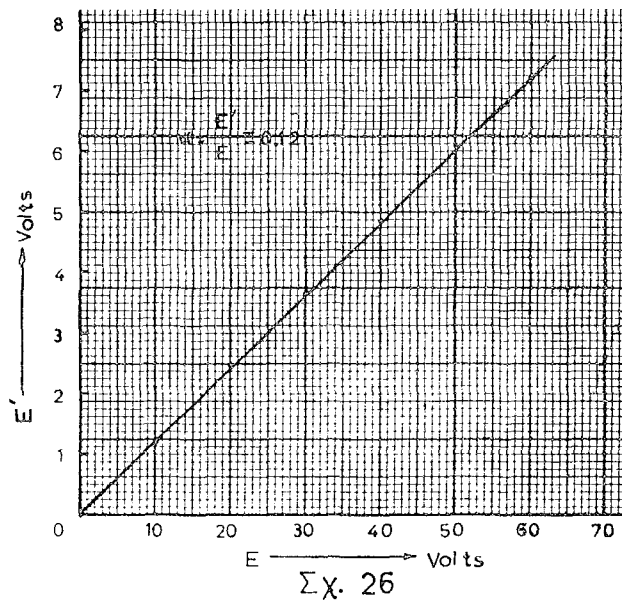
$$\Theta_x = E' \frac{R_{\Theta} + R'_{\Theta}}{\varepsilon R'_{\Theta} K} + \Theta_y$$

Τὸ Θ_y ὡς ἐλέχθη καὶ προηγουμένως (βλ. προσδιορισμὸν I_1) λαμβάνεται ὡς σταθερόν.

Τὸ $E' = aE$, ἔνθα $a=0,12$, ὡς προκύπτει ἐκ τῆς καμπύλης σχ. 26, ἣ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς τὰς μετρήσεις τοῦ πίνακος IV. Αἱ τιμαὶ αὗται ἐλήφθησαν ἐκ τοῦ κυκλώματος τοῦ σχήματος 6.

ΠΙΝΑΞ IV

E	E'
10	1,2
20	2,4
30	3,6
40	4,8
50	6,0
60	7,2



Λαμβάνοντες επίσης υπ' όψιν και τὰς γνωστὰς τιμὰς:

$$E = \varepsilon P, \quad \varepsilon = 50 \frac{V}{MW}, \quad R_{\Theta} = 10 \text{ M}\Omega, \quad R'_{\Theta} = 700 \text{ K}\Omega, \quad K = 0,050 \frac{MW}{^{\circ}\text{C}}$$

και δι' αντικαταστάσεως, ἔχομεν:

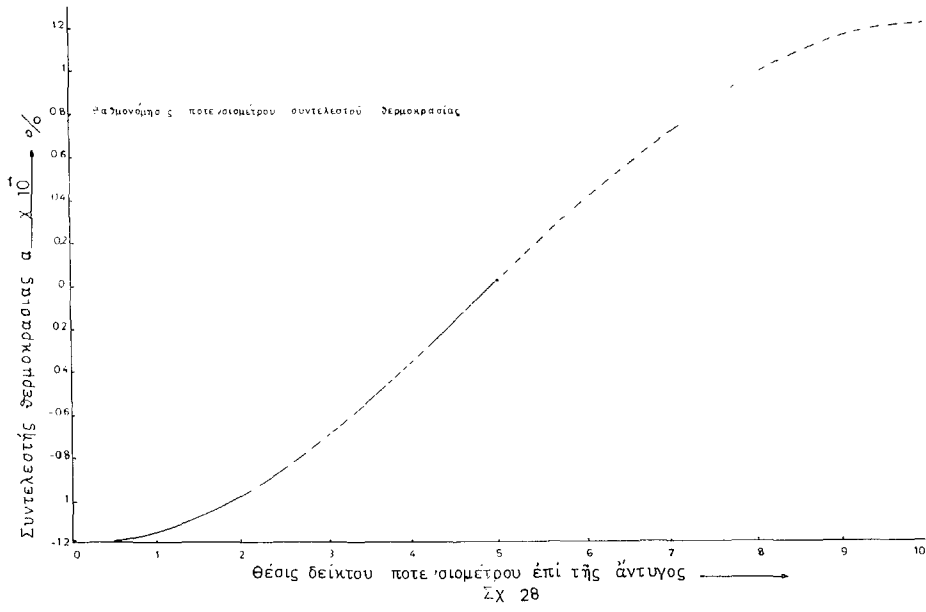
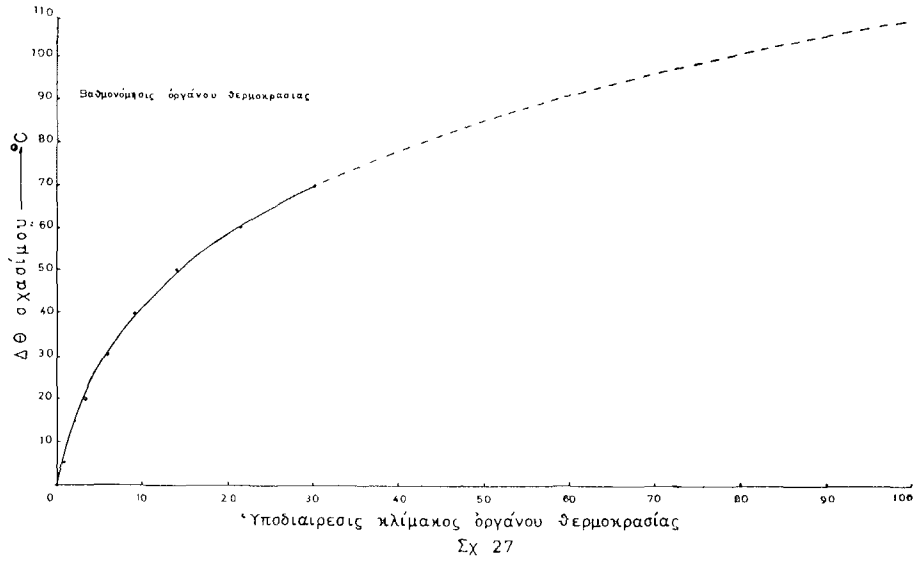
$$\Theta_x = 3,7 \times 10^{-3} \times P + \Theta_y \quad (64)$$

Λεδομένου δὲ ὅτι τὸ Θ_y εἶναι σταθερόν, εἶναι δυνατόν νὰ εὕρεθοῦν αἱ διαφοροὶ μεταβολαὶ $\Delta\Theta$ τῆς θερμοκρασίας τοῦ σχασίμου διὰ διαφόρους τιμὰς ἰσχύος P . Οὕτω ὁ ἔξομοιωτὴς καθίσταται κρίσιμος διὰ διαφόρους τιμὰς ἰσχύος P καὶ σημειοῦνται τὰ σημεῖα εἰς τὰ ὁποῖα φέρεται ὁ δείκτης τοῦ ὄργανου θερμοκρασίας ἐπὶ τοῦ κλίμακός του, ἐκ τῆς (64) δὲ εὕρισκεται ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας, ἡ ἀντιστοιχοῦσα εἰς τὰ ἐκάστοτε σημεῖα (Βλ. πίναξ V καὶ σχ. 27).

Π Ι Ν Α Ξ V

α)α	Ἰσχύς P KW	$\Delta\Theta$ σχασίμου $^{\circ}\text{C}$	ὑποδιαρέσεις κλίμακ. ὄργανου θερμοκρασίας
1	0	0	0
2	136	5	1
3	272	10	2
4	544	20	3,5
5	816	30	6
6	1085	40	9
7	1360	50	14
8	1635	60	21,5
9	1900	70	30

Ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ σχ. 27, βαθμονομεῖται εὐκόλως τὸ ὄργανον θερμοκρασίας.



Βαθμονόμησης ποτενσιομέτρου ροής ψυκτικού

Ἡ τιμὴ τῶν 700 KΩ τῆς ἀντιστάσεως R'_{Θ} δύναται νὰ ἀξιολογηθῇ δι' ἑνὸς ποσοστάτου εὐρισκομένου ἐν σειρᾷ.

Διὰ δεδομένην τιμὴν ἰσχύος P, ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀντιδραστήρου μεταβάλλεται διὰ μεταβολῆς τῆς ἀντιστάσεως R'_{Θ} δεδομένου ὅτι ὡς ἀνεφέρθη προηγουμένως (ὑπολογισμὸς I₁) μεταβολὴ τῆς ἀντιστάσεως ταύτης ἀντιστοιχεῖ εἰς μεταβολὴν τῆς ροῆς.

Ἐἰς θέσιν τοῦ ποτενσιομέτρου τελείως ἀριστερᾶ ($R'_{\Theta} = 700 \text{ K}\Omega$) ἀντιστοιχεῖ κανονικὴ ροὴ τοῦ ψυκτικοῦ ἴση πρὸς 900 γαλλόνια ἀνὰ λεπτόν*. Διὰ στροφῆς τοῦ ποτενσιομέτρου πρὸς τὰ δεξιὰ ἀυξάνει ἡ R'_{Θ} καθὼς καὶ ἡ ἔνδειξις τῆς θερμοκρασίας, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ εἰς ἐλάττωσιν τῆς ροῆς τοῦ ψυκτικοῦ.

Βαθμονόμησης ποτενσιομέτρου Δ_a

Τὸ ποτενσιομετρον Δ_a τοῦ συντελεστοῦ θερμοκρασίας βαθμονομεῖται τῆ βοηθητικῇ τῆς ἐξισώσεως (19) $\alpha = \frac{\delta k_{\Theta}}{\Delta_{\Theta}}$ ὅττω, δι' ὀρισμέναις θέσεις τοῦ ποτενσιομέτρου Δ_a (σχ. 11) φέρεται ὁ ἑξομοιωτῆς εἰς συνθήκας κρίσιμότητος καὶ προκαλεῖται αὕξησις τῆς θερμοκρασίας διὰ μεταβολῆς τῆς ροῆς τοῦ ψυκτικοῦ. Κατόπιν ὁ ἑξομοιωτῆς ἐπαναφέρεται καὶ πάλιν εἰς κρίσιμον σημεῖον καὶ μετρεῖται ἡ προκύψασα μεταβολὴ τῆς δραστηκότητος δk_{Θ} λόγω τῆς προκληθείσης μεταβολῆς Δ_{Θ} .

Αἱ ληφθεῖσαι μετρήσεις ἀναγράφονται, εἰς τὸν πίνακα VI ἐκ τοῦ ὁποῖου προκύπτει ἡ καμπύλη τοῦ σχ. 28.

Π Ι Ν Α Κ Ε VI

ἰσχύς	Θέσις Δ_a ποτενσιομ.	Δ_{Θ} °C	δk o/o	α 1 °C
1	2	8	0,185	$1,06 \times 10^{-1}$
1	3	14	0,085	$0,60 \times 10^{-1}$
1	4	18	0,070	$0,41 \times 10^{-1}$
1	5	50	0,00	0,00

* A.M.F. Greek Reactor, vol. I.

Βαθμονόμησις ποτενσιομέτρου πηγῆς

Ὡς καὶ προηγουμένως ἐλέχθη, ὁ σκοπὸς τοῦ ποτενσιομέτρου τῆς πηγῆς εἶναι ἅψ' ἑνὸς μὲν νὰ ἐξουδετερώνη τὰς ἐκ τῶν καθοδικῶν ἐνισχυτῶν δημιουργουμένας μικρὰς διαφορὰς τάσεως, ὥστε τὸ σημεῖον Σ νὰ παραμένῃ διαρκῶς εἰς δυναμικὸν μηδέν, ἅψ' ἑτέρου δὲ νὰ δίδῃ ἐν μικρὸν ρεῦμα διὰ τὴν ἔναρξιν ἐνδείξεως ἐπὶ τοῦ ὄργανου ἰσχύος, ἀντιστοιχοῦν εἰς τὴν ἐξωτερικὴν πηγὴν νετρονίων.

Τὸ μηδέν τοῦ ποτενσιομέτρου τούτου ἀντιστοιχεῖ εἰς ἐκείνην τὴν θέσιν διὰ τὴν ὁποίαν ἔχομεν ἔνδειξιν μηδέν ἐπὶ τοῦ ὄργανου ἰσχύος, ἐνῶ τὰ δύο ποτενσιόμετρα δὲ εὐρίσκονται καὶ αὐτὰ εἰς τὰς θέσεις μηδέν (θέσις 5 ἐπὶ τῆς ἀντρογῆς).

Βαθμονόμησις ὄργανου περιόδου

Τὸ ὄργανον τοῦτο ἔχει τὸ μηδέν εἰς τὸ μέσον τῆς κλίμακος, βαθμονομεῖται δὲ ἐκατέρωθεν τοῦ μηδενὸς εἰς ἐνδείξεις $\frac{1}{T}$.

Ἡ βαθμονόμησις γίνεται ὡς ἐξῆς: Λίδεται διὰ τοῦ ποτενσιομέτρου δὲ μία θετικὴ ἢ ἀρνητικὴ δραστηριότης δὲ, ὅποτε ἐνῶ αὐξάνῃ ἢ ἐλαττοῦται ἡ ἰσχύς P, ἀντιστοίχως ὁ δείκτης τοῦ ὄργανου περιόδου μετακινεῖται δεξιὰ ἢ ἀριστερὰ τοῦ μηδενός.

Τὸ $\frac{1}{T}$ τὸ ὁποῖον παρατηρεῖται εἰς ἐκάστην μετακίνησιν εὐρίσκεται εὐκόλως ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 22.

6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΜΟΙΩΤΟΥ

Πλεῖστοι μετρήσεις δύνανται νὰ ληφθοῦν διὰ τοῦ κατασκευασθέντος ἑξομοιωτοῦ ἀναφερόμενοι εἰς τὴν συμπεριφορὰν τοῦ ἑξομοιωθέντος ἀντιδραστήρου διὰ μεταβολῆς ὠρισμένων παραγόντων.

Κατωτέρω παρατίθενται ὠρισμένοι καμπύλαι, ληφθεῖσαι διὰ τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως, χαρακτηριστικαὶ τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ἀντιδραστήρου. Τὰ ἀποτελέσματα εἶναι λίαν ἱκανοποιητικά, συγκρινόμενα πρὸς θεωρητικὰς καμπύλας καὶ πειραματικὰς καμπύλας ἀντιδραστήρων παρομοίων τύπων τοῦ Ἑλληνικοῦ, ὡς δύναται νὰ συναχθῇ ἐκ τῆς παρατιθεμένης βιβλιογραφίας.

1. Ἀπότομος μεταβολὴ δk

διὰ πολὺ μικρὰν ἀπαγωγὴν θερμότητος*

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν παρατηροῦνται τὰ ἀποτελέσματα, τὰ ὁποῖα θὰ εἶχεν ἐπὶ τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρου ἀπότομος εἰσαγωγὴ δραστηκότητος δk ἐνῶ ἡ ἀπαγωγὴ τῆς θερμότητος εἶναι πολὺ μικρά, ὅποτε βεβαίως ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀντιδραστήρου θὰ ἀυξηθῇ πολὺ. Ἡ καμπύλη λαμβάνεται δι' ἀρνητικὸν συντελεστὴν θερμοκρασίας $a = -10^{-1} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ διότι καὶ ὁ συντελεστὴς θερμοκρασίας τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου εἶναι ἀρνητικός.

Ἡ μέτρησις διὰ τοῦ ἑξομοιωτοῦ ἐπιτυγχάνεται ὡς ἐξῆς:

Φέρεται ὁ ἑξομοιωτὴς εἰς συνθήκην κρισιμότητος. Κατόπιν εἰσάγεται

*Βιβλιογραφία :

- Nuclear Reactor Physics—R. L. Murray, σελ 199
Introduction to nuclear engineering—R. L. Murray, σελ. 322.

μία δραστικότητα δκ δι' αποτόμου περιστροφής του ποτενσιόμετρου χονδρικής ρυθμίσεως ἐνῶ ταυτοχρόνως δι' ἐνὸς διακόπτου τίθεται ἐν σειρά πρὸς τὴν R'_0 μία μεγάλη ἀντίστασις 10ΜΩ, πρᾶγμα τὸν ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ, ὡς ἔχει λεχθῆ, εἰς ἐλάττωσιν τῆς ροῆς τοῦ ψυκτικοῦ. Ἐπὶ τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως λαμβάνεται ἡ μεταβολὴ τῆς ἰσχύος P μετὰ τοῦ χρόνου.

Ἐπίσης ἐπὶ τοῦ ὄργάνου θερμοκρασίας παρατηρεῖται ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας εἰς τὸν αὐτὸν χρόνον καὶ τὰ ἀποτελέσματα σημειοῦνται ἐπὶ τῆς καμπύλης τῆς ἰσχύος, σχ. 29.

2. Ὁμαλὴ μεταβολὴ τοῦ δκ

Εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν παρατηρεῖται ἡ ἐπίδρασις ἐπὶ τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρου διὰ συνεχοῦς ὁμαλῆς μεταβολῆς τῆς δραστικότητος δκ.

Οὔτω, ὁ ἔξομοιωτῆς φέρεται καὶ πάλιν εἰς συνθήκας κρισιμότητος καὶ συνδέεται ὁ κινήτηρ ἐπὶ τοῦ ποτενσιόμετρου χονδρικής ρυθμίσεως.

Κατόπιν διὰ τρεῖς διαφορετικὰς ταχύτητας τοῦ κινήτηρος, εἰσάγεται συνεχῶς δραστικότης δκ δι' ὁμαλῆς περιστροφῆς τοῦ ποτενσιόμετρου χονδρικής ρυθμίσεως.

Εἰς τὸ σχ. 30 παρατίθενται αἱ καμπύλαι, ὡς ἐλήφθησαν ἐπὶ τοῦ χάρακτος τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως. Ἐκάστη καμπύλη ἐλήφθη δι' ὠρισμένον σταθερὸν ρυθμὸν μεταβολῆς δραστικότητος.

3. Ἀπότομος μεταβολὴ τοῦ δκ

διὰ κανονικὴν ἀπαγωγὴν θερμότητος*

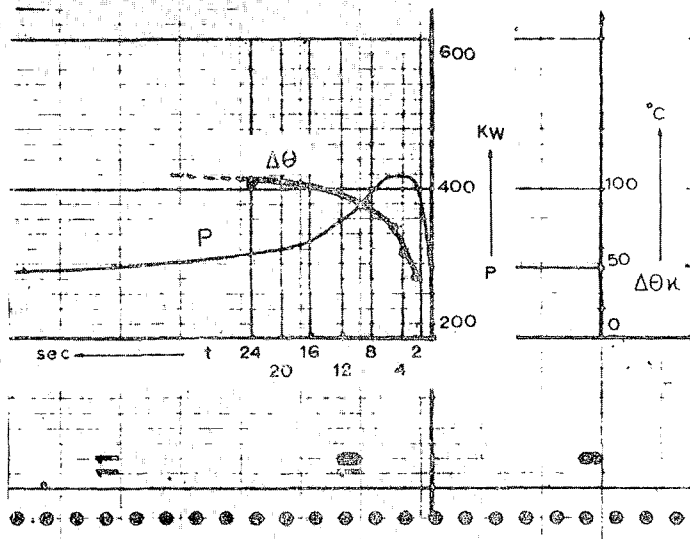
Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν παρατηροῦνται τὰ ἀποτελέσματα ἐπὶ τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρου, ἐνῶ ἡ ροὴ τοῦ ψυκτικοῦ εἶναι κανονικὴ (900 γαλλόνια ἀνά λεπτόν).

Ἡ μέτρησις ἐπιτυγχάνεται ὡς ἔξῃς:

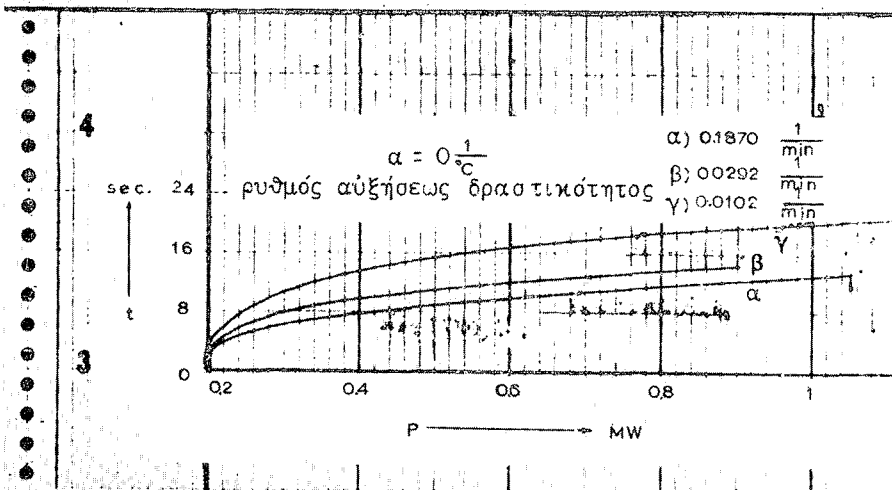
*Βιβλιογραφία :

Nuclear Engineering—Bonilla, σελ. 639.

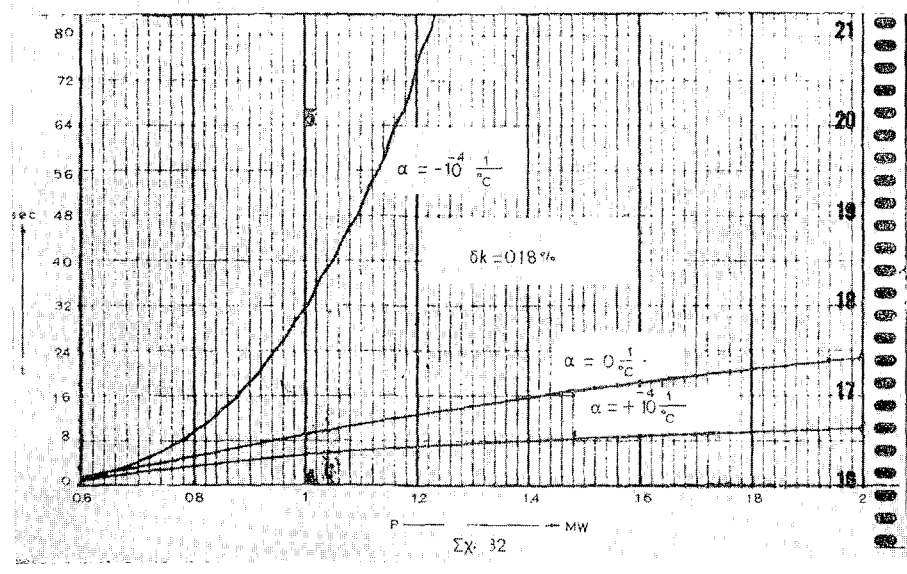
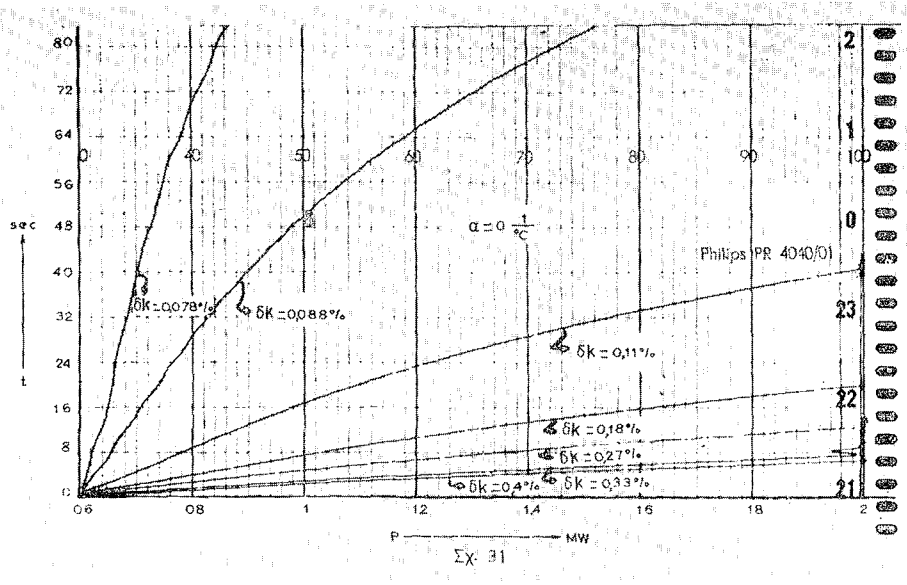
Control of nuclear reactors and power plants—Schultz, σελ. 32, 33, 34.



Σχ. 29



Σχ. 30



Φέρεται ὁ ἔξομοιωτὴς εἰς συνθήκας κρισιμότητος καὶ προκαλοῦνται διὰ τῶν ποτενσομέτρων χονδρική καὶ λεπτή ρυθμίσεως διάφοροι μεταβολαὶ δκ δι' ἀποτόμιον περιστροφῆς αὐτῶν κατὰ διαφόρους γωνίας. Εἰς τὸ σχ. 31 παρίστανται τὰ ἀποτελέσματα, ὅπως ἐλήφθησαν ἐπὶ τοῦ χάρτου τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως.

4. Ἀπότομος μεταβολὴ δκ διὰ $\alpha = 0$, $\alpha > 0$, $\alpha < 0$ *

Εἰς τὴν ἐν λόγω περίπτωσιν παρατηρεῖται ἡ ἐπίδρασις τοῦ α ἐπὶ τῆς ἀνάδου τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρου δι' ἀποτόμου εἰσαγωγῆς δραστηκότητος δκ.

Πρὸς τοῦτο φέρεται ὁ ἔξομοιωτὴς εἰς συνθήκας κρισιμότητος καὶ εἰσάγεται δραστηκότης δκ δι' ἀποτόμου περιστροφῆς τοῦ ποτενσομέτρου χονδρικής ρυθμίσεως διὰ τρεῖς διαφορετικὰς τιμὰς τοῦ α .

Τὰ ἀποτελέσματα, ὡς ἐλήφθησαν ἐπὶ τοῦ χάρτου τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως, παρίστανται εἰς τὸ σχ. 32.

*Βιβλιογραφία :

- Control of nuclear reactors and power plants—Schultz σελ. 39
Nuclear Reactor Physics—R.L. Murray, σελ. 165, 170

7. ΣΥΓΚΡΙΣΙΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΜΙΩΤΟΥ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΟΣ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

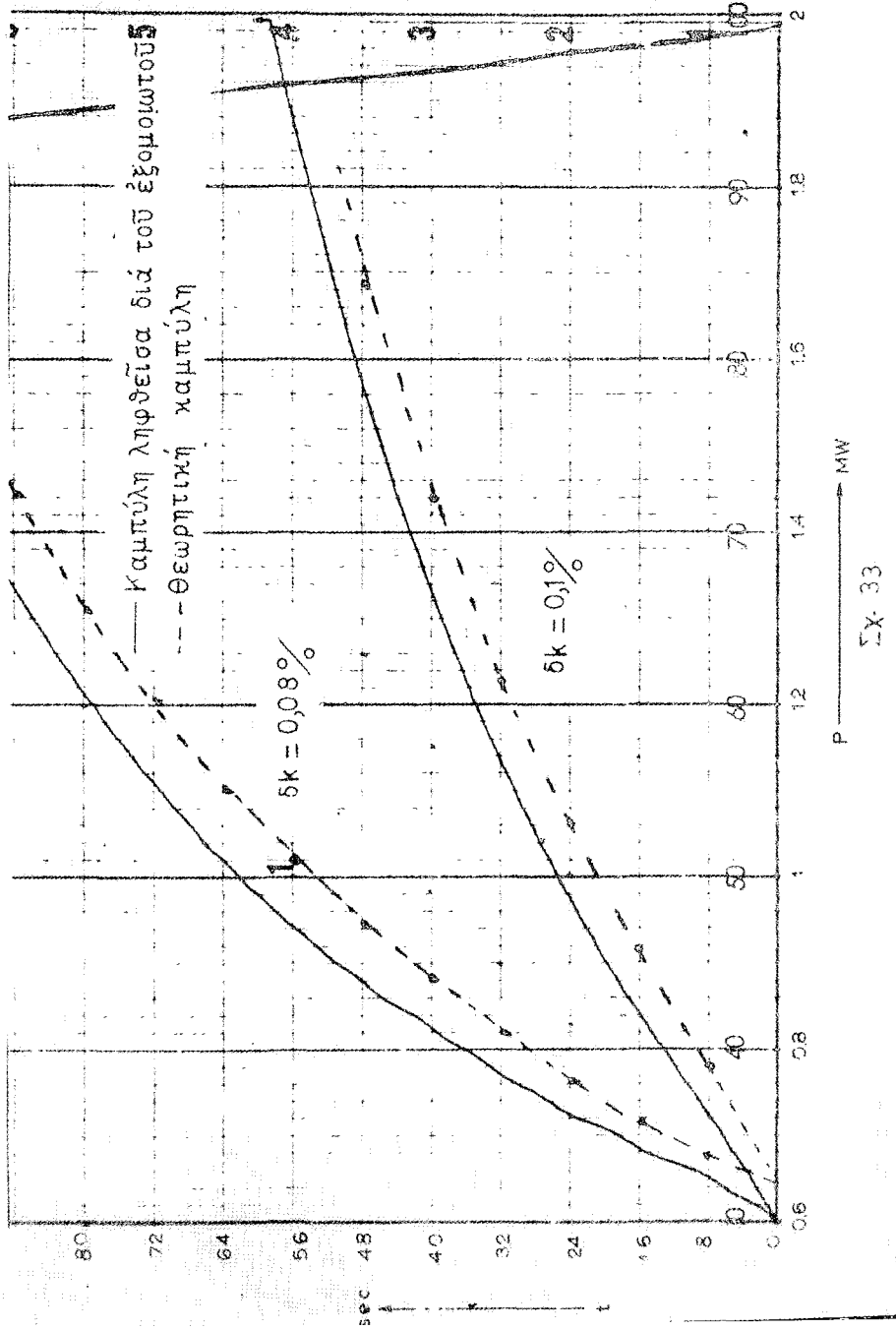
Ὁ ἐξομιωτὴς περιγράφει τὴν συμπεριφορὰν τοῦ ἀντιδραστήρου μὲ τὴν ἰδίαν περίπου προσέγγισιν, μὲ τὴν ὁποίαν καὶ αἱ ἐξισώσεις (29), (30), (31). Κατὰ τὴν κατάστροφωσιν ὅμως τῶν ἐξισώσεων αὐτῶν ἐδέχθημεν ὠρισμένας ἀπλοποιήσεις (ὡς π. χ. ὅτι τὰ νετρόνια εἶναι μονοενεργειακὰ ἢ ὅτι ἡ κατανομή τῆς πυκνότητος τῶν νετρονίων εἶναι ἡ αὐτὴ εἰς ὅλην τὴν καρδίαν τοῦ ἀντιδραστήρου καὶ ἴση πρὸς τὴν μέσην πυκνότητα), διότι ἄλλως, αἱ ἐξισώσεις παρουσιάζονται ἐξαιρετικὰ πολύπλοκοι.

Αἱ ἀπλοποιήσεις θεβαίως αὐταί, ἰσχύουν καὶ διὰ τὸν ἐξομιωτὴν. Πάντως παρ' ὅλας αὐτάς τὰς ἀπλοποιήσεις ἢ προσέγγισις εἶναι λίαν ἱκανοποιητικὴ. Ἐπίσης εἰσάγονται ὠρισμένα σφάλματα ἐξ αὐτοῦ τούτου τοῦ ἐξομιωτοῦ, τὰ ὁποῖα ὀφείλονται εἰς τὰς ἀνοχὰς τῶν ἀντιστάσεων καὶ πυκνωτῶν, εἰς μικρὰς ἀποκλίσεις τῶν λυχνιῶν ἐκ τῶν χαρακτηριστικῶν των καὶ εἰς σφάλματα, τὰ ὁποῖα εἰσάγει ὁ ἐνίσχυτής. Ἐπίσης ὡς καὶ ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 12 ἐμφαίνεται, ἡ ἐνίσχυσις τοῦ πολλαπλασιαστοῦ δὲν εἶναι ἀκριβῶς γραμμικὴ δι' ὅλας τὰς τιμὰς εἰσερχομένου σήματος καὶ ὡς ἐκ τούτου ἡ ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς δρατικότητος εἰς χαμηλὰς καὶ ὑψηλὰς τιμὰς ἰσχύος, θὰ ἀποκλίνῃ ὀλίγον τῆς ὀρθῆς τιμῆς.

Σφάλματα ἀκόμη εἰσάγονται κατὰ τὴν ἀνάγνωσιν τῶν διαφορῶν ἐνδείξεων τῶν ὀργάνων καὶ τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως.

Ὅλαι αὐταί αἱ πηγαὶ τῶν σφαλμάτων ὀδηγοῦν εἰς μίαν μεγίστην ἀπόκλισιν τῶν ἀποτελεσμάτων ἐκ τῶν πραγματικῶν λύσεων τῶν ἐξισώσεων κατὰ 10% περίπου, ὡς ἐμφαίνεται ἐκ συγκρίσεως τῶν ληφθεισῶν καμπυλῶν μετὰ τοιούτων ἀναγραφόμενων εἰς τὴν βιβλιογραφίαν καὶ ληφθεισῶν διὰ μαθηματικῆς ἐπιλύσεως τῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων.

Πράγματι αἱ διαφορικαὶ ἐξισώσεις κινητικῆς τοῦ ἀντιδραστήρου δύναται νὰ μετασχηματισθοῦν εἰς μίαν ἀπλὴν ἐξίσωσιν τῆς μορφῆς:



$$P(t) = P(0) \sum_{i=1}^6 A_i e^{P_i \cdot t} \quad (65)$$

Ένθα $P(0)$ καὶ $P(1)$ αἱ ἰσχεῖς τοῦ ἀντιδραστήρου εἰς τὴν ἀρχὴν τῶν μετρήσεων καὶ μετὰ χρόνον t ἀντιστοίχως.

Αἱ τιμαὶ τῶν A_j καὶ P_j εἶναι συναρτήσεις τῶν δk καὶ l καὶ εὐρίσκονται τῇ βοηθείᾳ καμπυλῶν (Βλέπε: Γενικὴν βιβλιογραφίαν [28], σελ. 30).

Ἐξ τὸ σχῆμα 33 παρίστανται αἱ μεταβολαὶ τῆς ἰσχύος τοῦ ἀντιδραστήρου συναρτήσει τοῦ χρόνου, δι' ἀποτόμου εἰσαγωγῆς δύο διαφορετικῶν δk , ἐνῶ τὸ α παραμένει ἴσον πρὸς μηδέν καὶ τὸ $l = 5,5 \times 10^{-5}$ sec

Διὰ συνεχῶς γραμμῆς παρίστανται αἱ καμπύλαι ὡς ἐλήφθησαν διὰ τοῦ ἔξομοιοτοῦ ἐπὶ τοῦ χάρτου τοῦ ἠλεκτρονικοῦ καταγραφέως, ἐνῶ διὰ διακεκομμένης γραμμῆς παρίστανται ἐπὶ τοῦ ἰδίου χάρτου αἱ θεωρητικαὶ καμπύλαι, ὡς προκύπτουν δι' ἐπιλύσεως τῆς (65) διὰ διαφόρους τιμὰς τοῦ l .

Διὰ συγκρίσεως τῶν πειραματικῶν καὶ τῶν θεωρητικῶν καμπυλῶν μεταξὺ των, ἐμφαίνεται ὅτι αἱ πρῶται δὲν διαφέρουν τῶν τελευταίων κατὰ ποσότητα μεγαλυτέραν τῶν 10%.

Ὁ ἔξομοιοτὴς περιλαμβάνει ἐπίσης ὅλα τὰ βασικὰ ὄργανα καὶ παρέχει ὅλας τὰς βασικὰς ἐνδείξεις τοῦ πραγματικοῦ ἀντιδραστήρου. Ἀλλὰ δὲ ἰσχύν, θερμοκρασίαν, περίοδον, ροὴν ψυκτικοῦ, μεταβολὰς δk , μεταβολὰς πηγῆς καὶ ἐπὶ πλέον μεταβολὰς συντελεστῶν θερμοκρασίας καὶ δk_{\max} .

Ἡ συσκευή παρουσιάζει ὀρισμένους περιορισμοὺς ὡς πρὸς τὴν ἀναπαράστασιν φαινομένων εἰς λίαν ὑψηλὰς ἰσχεῖς (ἄνω τῶν 2 MW), δεδομένου ὅτι πλήρης ἀπόκλισις τοῦ ὄργανου ἰσχύος (120 V) ἀντιστοιχεῖ εἰς 2 MW, ἄνω δὲ τῶν 120 V αἱ λυχνίαι τοῦ ἐνισχυτοῦ πλησιάζουν πρὸς τὸν κόρον καὶ αἱ ἐνδείξεις δὲν εἶναι ἀκριβεῖς. Λεδομένου ὅμως ὅτι ἡ μεγίστη ἰσχύς λειτουργίας τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου θὰ εἶναι 1 MW, τὸ ὄριον τῶν 2 MW θεωρεῖται ἱκανοποιητικόν. Σημειωτέον, ὅτι τὸ ὄριον αὐτὸ δύναται νὰ ἀυξηθῇ δι' ἐκλογῆς ἄλλου ϵ ἀλλὰ τότε ἡ κλίμαξ τοῦ ὄργανου διὰ ἐνδείξεις ἀπὸ 0-1 MW θὰ περιορισθῇ, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον θὰ ἐλαττώσῃ τὴν ἀκριβειαν ἀναγνώσεως εἰς τὴν συνήθως χρησιμοποιουμένην περιοχὴν ἀπὸ 0-1 MW.

8. ΣΥΓΚΡΙΣΙΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΑΛΛΟΥΣ ΕΞΟΜΟΙΩΤΑΣ, ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Αί βασικαί ἀρχαί κατασκευῆς ἀπλοποιημένων ἐξομοιωτῶν ἀναφερομένων εἰς τὴν ἐπίλυσιν τῶν ἐξισώσεων (15) καὶ (16) τοῦ ἀντιδραστήρου ἀναφέρονται εὐρέως εἰς τὴν βιβλιογραφίαν*.

Ἐπίσης ἔχουν κατασκευασθῆ καὶ ἐξομοιωταὶ ἀναφερόμενοι εἰς πλέον πολύπλοκα συστήματα ἐξισώσεων, τῶν ὁποίων ὅμως ἡ κατασκευὴ εἶναι ἐπίσης ἐξαιρετικὰ πολύπλοκος καὶ ἀποβλέπει εἰς εἰδικὰς ἐπιδιώξεις, ἀναφερομένης κυρίως εἰς ἀντιδραστήρας ἰσχύος**.

Ὁ κατασκευασθεὶς ἐξομοιωτὴς ἀναφέρεται εἰς τὸ σύστημα τῶν ἐξισώσεων (29), (30), (31). Ἐπομένως λαμβάνει ὑπ' ὄψιν καὶ τὴν ἐπίδρασιν τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς δραστηκότητος, καθὼς ἐπίσης καὶ τὴν μεταφορὰν θερμότητος ἐκ τῆς καρδίας τοῦ ἀντιδραστήρου εἰς τὸν ἀνταλλάκτην θερμότητος.

Ἡ ἐξομοίωσις τῶν ἐξισώσεων ἔχει γίνεαι μὲ τὸν ἀπλούστερον δυνατὸν τρόπον, χωρὶς ὅμως νὰ ὑστερῇ εἰς ἀκρίβειαν, ὡς ἐκ τῶν ληφθέντων ἀποτελεσμάτων ἐμφαίνεται.

Τὰ ἰδιαίτερα στοιχεῖα, τὰ ὁποῖα ὁ ἐξομοιωτὴς αὐτὸς παρουσιάζει, εἶναι τὰ ἑξῆς:

α) Ἀναφέται ἀκριβῶς εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου ἐρεῦνης, τύπου ἀνοικτῆς δεξαμενῆς, 1MW, ὅστις χρησιμοποιεῖ ὡς καύσιμον στοιχεῖον Οὐράνιον 238 ἐμπλουτισμένον κατὰ 20% εἰς Οὐράνιον 235. Ἡ ἐκλογή τῶν διαφόρων ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων καὶ ὁ ὑπολογισμὸς τῶν σταθερῶν αὐτῶν, ἔχει γίνεαι βάσει τῶν διαφόρων θεωρητικῶς ὑπολογισθέντων σταθερῶν τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου. Τοιοῦτοτρόπως ἡ συμπεριφορὰ τοῦ ἐξομοιωτοῦ ἀνταποκρίνεται πλήρως πρὸς τὴν συμπεριφορὰν τοῦ

* Βλέπε γενικὴν βιβλιογραφίαν [3], [25], [28], [33].

**Βλέπε γενικὴν βιβλιογραφίαν [2], [8], [10], [11], [16], [24], [29], [31].

Ἑλληνικοῦ ἀντιδραστήρου καὶ αἱ ληφθεῖσαι καμπύλαι ἐφαρμόζονται καὶ εἰς τὸν Ἑλληνικὸν ἀντιδραστήρα.

β) Ὡς κατεδείχθη καὶ κατὰ τὴν μελέτην τῶν ἐξισώσεων (29, (30), (31), ἡ ἐπίδρασις τῆς θερμοκρασίας εἰσῆλθεν ἐντὸς τῆς ἐξισώσεως (29) ὡς εἷς ἀπλοῦς παράγων, ὁ ὁποῖος ὅμως περιγράφει μετὰ τῆς ἀπαιτουμένης ἀκριβείας τὴν ἐπίδρασιν τῆς θερμοκρασίας. Ὁ παράγων ὅμως αὐτὸς μεταβάλλει τὴν πρώτην ἐξίσωσιν ἀπὸ γραμμικὴν εἰς μὴ γραμμικὴν. Ὁ ὅρος ὁ περιλαμβάνων τὴν θερμοκρασίαν ἐξομοιοῦται δι' ἑνὸς ἀπλοῦ κυκλώματος πολλαπλασιαστοῦ, λυομένης οὕτω τῆς δυσκολίας τῆς προερχομένης ἐκ τῆς μὴ γραμμικότητος τῆς ἐξισώσεως.

γ) Διὰ μᾶς ἀπλοποιημένης διατάξεως ἐξομοιοῦται καὶ ἡ ἐξίσωσις (31) καὶ δι' εἰδικοῦ ὄργανου παρατηρεῖται ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας, συναρτήσῃ τοῦ χρόνου.

δ) Ὑπάρχει δυνατότης μεταβολῆς τῆς ροῆς τοῦ ψυκτικοῦ, ὁπότε παρατηροῦνται αἱ ἀντίστοιχοι ἐπιδράσεις ἐπὶ τῆς ἰσχύος καὶ τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀντιδραστήρου.

ε) Ὑπάρχει δυνατότης ἀλλαγῆς τοῦ συντελεστοῦ θερμοκρασίας εἰς τιμὰς ἀρνητικὰς, θετικὰς καὶ μηδέν.

στ) Αἱ ἐκ τῶν μεταβολῶν τῆς δραστηριότητος τοῦ ἀντιδραστήρου προκύπτουσαι μεταβολαὶ τῆς περιόδου δύνανται νὰ παρατηρηθοῦν τῇ βοήθειᾳ ἑνὸς κυκλώματος λογαριθμώσεως καὶ ἑνὸς κυκλώματος ὀλοκληρώσεως.

ζ) Τέλος, ἡ διάταξις αὕτη ἔχει τὸ πλεονέκτημα, ὅτι ὁ χειριζόμενος τὸν ἐξομοιωτὴν δύναται καθήμενος νὰ παρατηρῇ ὅλα τὰ ὄργανα καὶ νὰ ἐλέγῃ ὅλα τὰ κομβία. Ἡ συσκευὴ ἐπίσης ὁμοιάζει ὅσον τὸ δυνατόν περισσότερο ἀπὸ ἀπόψεως διευθετήσεως ὀργάνων μὲ τὴν τράπεζαν ἐλέγχου τοῦ πραγματικοῦ ἀντιδραστήρου, ὁπότε, ἐφ' ὅσον ὁ ἐξομοιωτὴς θὰ χρησιμεύσῃ καὶ πρὸς ἐκπαίδευσιν τῶν μελλόντων νὰ χειρισθῶσι τὸν πραγματικὸν ἀντιδραστήρα, βοηθεῖ ὥστε νὰ ἐξοικειωθῇ ὁ χειριζόμενος αὐτὸν μὲ τὰς πραγματικὰς θέσεις τῶν διαφόρων ὀργάνων καὶ κομβίων καὶ τοὺς πραγματικὸς χειρισμοὺς αὐτῶν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A M.F., Atomics: Core Physics for the Democritus Research Reactor, 1958.
2. Battelle Memorial Institute: Simulation of various accident considerations for a merchant ship pressurised -- motor reactor BMI - 1269, 1958.
3. Bell P. R. — Straus H. A: Electronic Pile, Review of Scientific Instrument Vol. 21, No. 8.
4. Benedict M. — Pigford I: Nuclear Chemical Engineering, 1959.
5. Bettis Plant A. T.: BAC-AN-IBM-704 Code for Reactor Thermal Transients WAPD-IM-20, 1957.
6. Bonilla C.: Nuclear Engineering, 1957.
7. Chermick J.: The dependence of reactor kinetics on temperature BNL-173
8. Collier D. M. — Meeks L. A., Palmer J. P: The HRE Simulator ORNL - 1572, 1954
9. Corey V. B: Suggestions toward improving the accuracy of the passive simulator AECD-2297.
10. Frederic Flader Inc.: Space Simulator AECD-2298
11. Harrer J. M.: Nuclear Reactor Simulator ANL-4294.
12. Hurwitz Henry Jr.: On the derivation and integration of the pile kinetic equations - AECD - 2438.
13. Glasstone S.: Nuclear Reactor Engineering, 1956.
14. Glasstone S. and Edlund M.: The elements of Nuclear Reactor Theory, 1956.
15. Gossmann S. R.: Stability Analysis of the ETR with reactivity feedback through the temperature coefficient. IDO-16449, 1958.
16. Green F. P.: Reactor Controls analog facilities ORNL-2405, 1958.
17. Griffing G. W., and Deverall L. I.: Kinetic studies on the SPERT I Reactor IDO-16404, 1957.
18. » » » » Kinetic studies on the SPERT I Reactor IDO-16397, 1958.
19. Korn G. A. — Korn T. M.: Electronic Analog Computers, 1956.
20. Littler D. Z. - Raffle J. F.: An introduction to reactor physics, 1955.

21. Michigan Memorial Phoenix Project: Initial calibration of the Ford Nuclear Reactor MMPP-110-1, 1958.
22. Murray R. L.: Introduction to Nuclear Engineering, 1954
23. » » Nuclear Reactor Physics, 1957
24. O' Meara F. G.: Reactor Simulators - Applied Physics Vol 21, No. 9, Sept. 1953.
25. PageIs W.: A portable electronic pile kinetic simulator AECD-2941, 1950.
26. Pawlicki G. S. Analog Solution of reactor kinetics ANL (private publication).
27. Remley M. E.: Reactor Kinetics, MAA-SR-2134, 1958.
28. Schultz M. A.: Control of Nuclear Reactors and power plants, 1955.
29. » » Automatic Control of power reactors AECD-3163, 1950
30. Spinrad B. I. - Kurath D.: Computation forms for solution of critical problems by two group diffusion theory. ANL-4352, 1952.
31. Stone J. J. -- Mann E. R.: Oak Ridge National Laboratory reactor controls computer, ORNL-1632, 1954
32. Thompson S. A. -- Rogers O. E.: Thermal power from nuclear reactors, 1956
33. Tonks L.: The pile simulator: A Network analog to the 2-group analysis, A 4256
34. Ward A. G.: The temperature coefficients of NEX and ZEEP - AECL No 375, 1956