

## Der Spezial-Röntgen-Apparat für Tiefenbestrahlungen.\*)

Das Symmetrie-Instrumentarium mit seinen neuen Verbesserungen und Zusatz-Einrichtungen.

L. Baumeister, Ing., Erlangen.

Bei der Konstruktion eines Tiefentherapie-Instrumentariums sind es zwei Dinge, die hauptsächlich berücksichtigt werden müssen:

Die Erzeugung einer besonders harten und möglichst homogenen Strahlung und die Möglichkeit eines intensivsten Dauer-Betriebes.

Inwieweit diese Bedingungen bei dem Symmetrie-Instrumentarium mit seinen neuen Verbesserungen erfüllt und mit welchen Mitteln dieselben erreicht werden, sollen meine folgenden Ausführungen dartun:

Infolge der besonderen Bau- und Herstellungsart sind die Induktoren unbedingt durchschlagsicher. Bei den annähernd 400 gelieferten Symmetrie-Induktoren kam noch kein einziger Durchschlag von Sekundär gegen Primär vor.

Eine große Gefahrenquelle für ein Hochspannungs-Transformationsgerät sind die schnellen elektrischen Schwingungen, welche im sekundären Stromkreis auftreten. Diese Schwingungen werden von den Endwindungen der Sekundärspulen reflektiert (abgedrosselt), eine Arbeitsleistung, welche sich

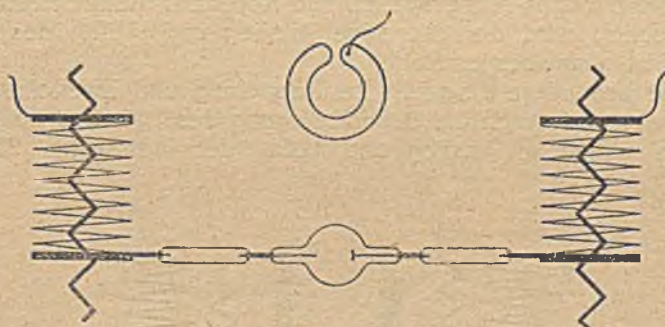


Fig. 1

in der Erwärmung der Spulenentwicklung äußert. Die Erwärmung kann derart stark werden, daß die Isolation des Sekundärspulendrahtes verkohlt und mit der Zeit ganze Spulenscheiben kurzgeschlossen werden, was dann zum völligen Defekt führt.

Bei den Symmetrie-Induktoren sind nun an den Spulenden Metallscheiben eingebaut. (Figur 1.)

Die sowohl in der Röhren-Stromkreishälfte, als auch in der Funkenventil-Stromkreishälfte auftretenden schnellen elektrischen Schwingungen, werden nun von diesen, der Sekundärwicklung vorgeschalteten Metallscheiben reflektiert und schützen so die Wicklung vor Beschädigung.

Für die Erzeugung härtester Strahlen ist die Höhe der Spannung, und für das Strahlenspektrum ist die Form der Entladungs-Stromimpulse mit maßgebend, welche durch die Röntgenröhre geschickt werden.

Die Spannungsleistung des Symmetrie-Induktoriums ist so groß, daß dieselbe in stande ist, eine Luftfunkenstrecke von 80 cm zu durchschlagen. Das Instrumentarium ist aber für eine noch höhere Spannung oder für größere

\*) Vortrag, gehalten bei der Berliner Röntgenvereinigung am 3. 11. 1921.



Stromstärken weiter ausbaufähig dadurch, daß noch weitere Induktoren zugeschaltet werden. Soll die Spannung erhöht werden in Serienschaltung, soll die Stromstärke erhöht werden in Parallelschaltung. (Figur 2.)

Das Lichtbild zeigt drei verschiedene sekundäre Stromkurven: Die Sinus-Wechselstromkurve, die eines gewöhnlichen Induktors mit Unterbrecherbetrieb und diejenige vom Symmetrie-Induktorium, letztere rasch ansteigend und ebenso abfallend ohne Zwischenschwingungen.

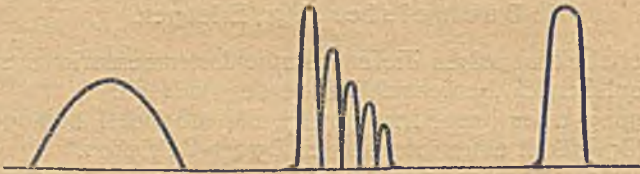


Fig. 2

Die günstige Gestaltung der sekundären Stromkurve wird durch folgende Mittel erreicht:

- Durch eine passende Bemessung von Selbstinduktion und Kapazität im primären Stromkreis,
- Durch eine besondere magnetische Koppelung beim Induktor-System,
- Durch Beschleunigung des Unterbrechungs-Vorganges.

Durch eine passende Bemessung von Selbstinduktion (Wicklung und Eisenmasse der Induktor-Primärspulen) und Kapazität (Kondensatoren parallel dem Unterbrecher) wird der einmalige Anstieg und Abfall des induzierten sekundären Stromimpulses erreicht.

Durch die besondere magnetische Koppelung und Zweiteilung des Induktor-Systemes und durch die Beschleunigung des Unterbrechungs-Vorganges wird der plötzliche Anstieg und Abfall der induzierten Stromimpulse erreicht.

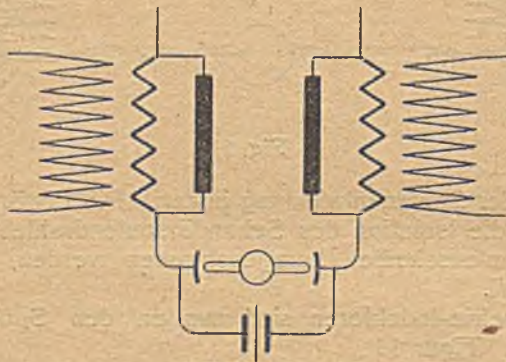


Fig. 3

Zur Beschleunigung des Unterbrechungs-Vorganges dient im allgemeinen der dem Strom-Unterbrecher parallel geschaltete Kondensator. Dieser hat die Aufgabe, den im Augenblick der Stromunterbrechung entstehenden Selbstinduktionsstrom aufzunehmen, also die Unterbrechungsstelle zu entlasten, m. a. W. den Unterbrechungsfunken zu verkleinern. Damit wird auch die Zeit des Unterbrechungs-Vorganges verkürzt und die sekundäre Stromkurve steigt entsprechend steil an.



Es wurde nun versucht, den Unterbrechungsvorgang noch weiter zu verkürzen, dadurch, daß jeder der beiden Primärspulen ein induktionsfreier Widerstand parallel geschaltet wurde, wie das Lichtbild zeigt. (Figur 3.)

Diese Widerstände nehmen einen Teil der Selbstinduktion von den Primärspulen auf, tragen also weiter mit zur Entlastung der Unterbrechungsstelle bei, liegen aber nicht ganz das angestrebte Ziel erreichen. Je kleiner deren Widerstand gewählt wird, desto mehr Selbstinduktionsstrom nehmen dieselben



Fig. 4

wohl auf, aber um so mehr nehmen sie auch vom Magnetisierungsstrom für die Primärspulen weg, schwächen also diesen und auch die Induktion.

Nun wurden statt der Widerstände Kondensatoren den Primärspulen parallel geschaltet, wie obiges Lichtbild zeigt. (Figur 4.)

Die Kondensatoren nehmen je nach Größe der Kapazität eine verhältnismäßig große Elektrizitätsmenge des Selbstinduktionsstromes auf, nehmen aber keinen Magnetisierungsstrom weg, schwächen somit weder diesen noch die Induktion und liegen so das Ziel erreichen.

Zur Erreichung einer für die Tiefentherapie geeigneten Strahlung ist es aber auch notwendig, pro Zeiteinheit sehr viel härteste Strahlen und schon von vornherein möglichst wenig weiche Strahlen zu erzeugen.

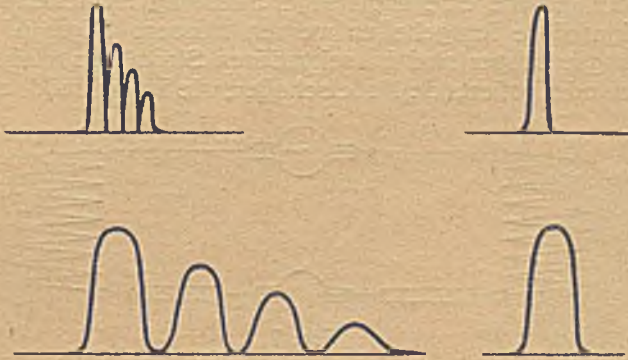


Fig. 5

Das Maximum der Härte der Strahlen ist abhängig vom Maximum der Spannung der einzelnen Stromimpulse und die Quantität der härtesten Strahlen ist davon abhängig, wie lange der Maximalwert bei den einzelnen Stromimpulsen bestehen bleibt. Ich habe bereits gezeigt, daß bei einem gewöhnlichen Induktor-Apparat jeder einzelne die Röntgenröhre passierende Stromimpuls aus mehreren Schwingungen besteht, während beim Symmetrie-Induktorium dieser Stromimpuls nur aus einer einzigen Schwingung besteht. (Figur 5.)



Diese eine Schwingung ist aber nicht wie beim Lichtbild (oben rechts) gleich kurzzeitig wie beim Kurvenbild (oben links) des gewöhnlichen Induktors die erste Schwingung, sondern deren Scheitelwert bleibt relativ lange aufrecht erhalten (unten rechts).

Das Kurvenbild ohne eingeschaltete Röhre (unten links) zeigt, daß beim Symmetrie-Induktorium der einzelne Stromimpuls auch aus mehreren Schwingungen besteht, jedoch mit dem Unterschied, daß die einzelnen Schwingungen nicht unmittelbar aufeinander folgen, sondern getrennt stehen und weiter, daß die erste Schwingung sehr kräftig ist, die folgenden dagegen so schwach, daß dieselben bei eingeschalteter Röhre deren Widerstand nicht mehr zu überwinden vermögen.

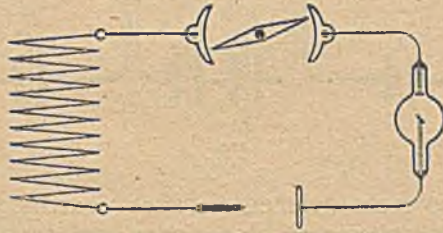


Fig. 6

Daß von vornherein schon möglichst wenig weiche Strahlen entstehen, ist deshalb wichtig, weil einesteils mit einem möglichst schwachen Filter eine praktisch homogene Strahlung zu erreichen ist und hauptsächlich deshalb, weil das durchstrahlte Zwischengewebe (zwischen Haut und Krankheitsherd) mehr geschont wird.

Trotz all dieser Mittel wäre die sekundäre Stromkurve doch nicht imstande, eine geeignete Strahlenqualität in der Röntgenröhre entstehen zu lassen, denn es treten auch schnelle elektrische Schwingungen im sekundären Stromkreise auf, welche eine ungünstige Strahlung entstehen lassen und die von der Röntgenröhre ferngehalten werden müssen. (Figur 6.)

Schwingungserzeuger sind im sekundären Stromkreis vorhandene Ventilfunkenstrecken oder rotierende Nadelschalter, wie im Lichtbild angegeben.

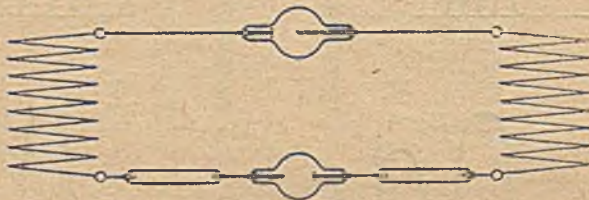


Fig. 7

Beim Symmetrie-Induktorium können diese Schwingungen nicht zur Röntgenröhre gelangen, weil die Ventilfunkenstrecke zwischen den beiden Induktoren eingeschaltet ist, wie das folgende Lichtbild zeigt. (Figur 7.)

Bei den modernen Hochspannungsleitungen, welche aus zwei starken, parallel zu einander verlaufenden Metallrohren bestehen, bilden sich Kapazitäts-Entladungen, welche die reingeformte Stromkurve verändern. Um diese von der Röhre fernzuhalten, sind beim Symmetrie-Instrumentarium, an der Hochspannungsleitung auf Rollen laufend, unmittelbar vor die Röhre zwei Hochspannungswiderstände (à 200 000 Ohm) geschaltet. Das folgende Lichtbild zeigt diese Anordnung. (Figur 8.)



Das Symmetrie-Induktorium ist sowohl zum Betriebe von Gasröhren als auch Glühkathodenröhren gleich gut geeignet. Bei beiden Betriebsarten kommt die günstige sekundäre Stromkurvenform vorteilhaft zur Geltung, d. h. zur Erreichung einer praktisch homogenen Strahlung genügt das 0,5 mm Zinkfilter.

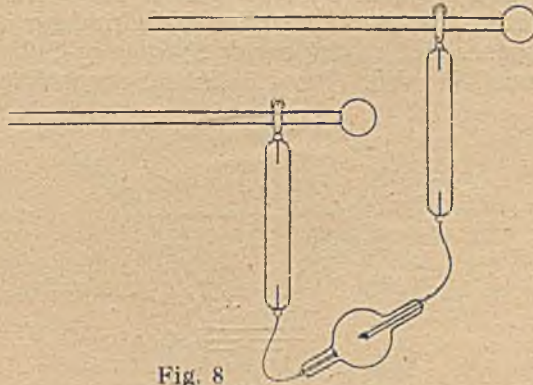


Fig. 8

Die zum Betriebe von Gasröhren mit Osmo-Regenerierung erforderliche Zusatz-Einrichtung, der Wintz- oder der Schreus-Automat ist bereits so bekannt, daß ich hier nicht näher darauf einzugehen brauche. (Figur 9.)

Neu ist die Zusatz-Einrichtung zum Betriebe der Glühkathode bei Elektronenröhren.

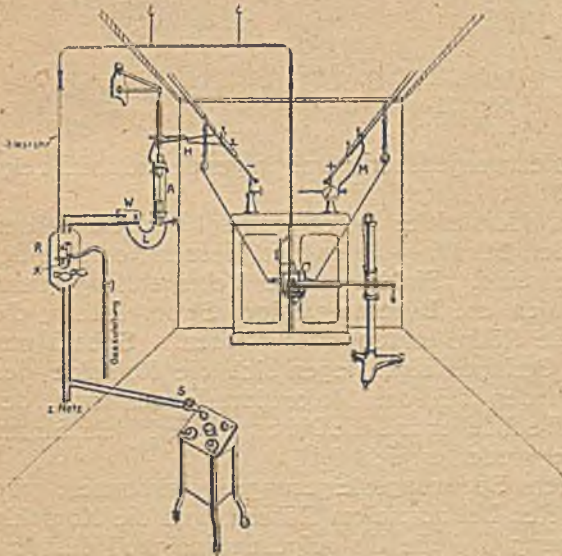


Fig. 9

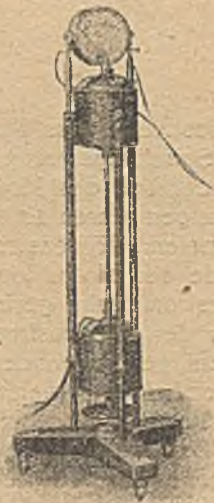


Fig. 10

Diese Einrichtung besteht, wie das folgende Lichtbild zeigt, aus einem, auf einem fahrbaren Eisendreifuß montierten Elektromotor, über welchen sich, auf 3 hochisolierten Perlinaxsäulen gelagert, eine Dynamomaschine befindet (Fig. 10); beide Maschinen sind durch eine hochisolierte Achse mit einander verbunden. Der vom Motor angetriebene Dynamo liefert Gleichstrom, was beim Therapiebetrieb zur Erreichung einer möglichst homogenen Strahlung besonders von Vorteil ist. Die Höhe der Heizstromstärke wird



mittels eines vor den Motor geschalteten Regulierwiderstandes durch entsprechende Einstellung der Umlaufgeschwindigkeit des Motors eingestellt. Ein Amperemeter gibt die Heizstromstärke an. Das folgende Lichtbild zeigt ein Symmetrie-Instrumentarium mit dieser neuen Zusatz-Einrichtung. (Figur 11.)

Wie das Lichtbild zeigt, ist auch das Relais des Wintz-Automaten mit in Verbindung gebracht. Der Motor der Zusatz-Einrichtung ist an und für sich schon besonders geschaltet, so daß er von Spannungs-Schwankungen im Netz nicht so sehr beeinflußt wird. Um plötzliche Schwankungen auszugleichen,

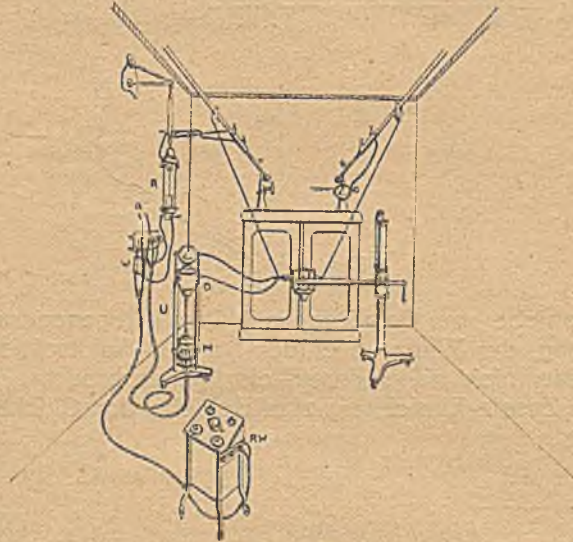


Fig. 11

ist das Relais des Wintz-Automaten vorgesehen. Das folgende Lichtbild zeigt die Schaltungsweise. (Figur 12.)

Ein Teil des Motor-Regulierwiderstandes ist abgezweigt und die beiden Leitungen führen zu den Kontakten des Wintz-Automaten, dessen Kontakte bei normalem Röhrenstrom geöffnet sind. Sinkt nun die Netzspannung, dann würde der Motor langsamer laufen, die Dynamo weniger Strom liefern, die Heizstromstärke geringer und die Röhre unwegsamer werden. Sobald nun aber der Röhrenstrom um ein Geringes sinkt, legen sich die Kontakte des Relais gegeneinander, schließen den Teil des Motorwiderstandes kurz, der Motor bekommt mehr Strom, läuft schneller und die Dynamo liefert mehr Strom, bis die normale Heizstromstärke wieder erreicht ist.

Bei einem Netz, in dem öfters Spannungssteigerungen vorkommen, wird das Relais so eingestellt, daß sich bei normalem Röhrenstrom die Kontakte berühren. Steigt die Netzspannung und die Umlaufgeschwindigkeit des Antriebmotors wird größer, damit auch der Heizstrom und der Röhrenstrom, dann öffnen sich die Kontakte, schallen Widerstand vor den Motor, dieser läuft langsamer, bis wieder die Heizstromstärke normal ist.

Bei Wechselstromanschluß wird für die Heizstrom-Zusatzeinrichtung ein von Netzschwankungen vollkommen unabhängiger Antriebsmotor verwendet. Der Regulierwiderstand für die Heizstromstärke liegt hier im Dynamostromkreis und kann, da an der Hochspannung liegend, mittels Schnurzug eingestellt werden; der Wintz-Automat kommt hier nicht zur Anwendung. Das folgende Lichtbild läßt den Aufbau erkennen. (Figur 13.)



Die Leistung des Symmetrie-Instrumentariums mit seinen neuen Zusatz-Einrichtungen ist folgende:

Bei einem Symmetrie-Instrumentarium in der Erlanger Universitäts-Frauenklinik betrug die Bestrahlungszeit mit Coolidge-Röhre bei

2,5 M. A.      0,5 Zn + 3 mm Al.-Filter      Hautfeld 6 : 8 cm  
23 cm FH.      35 Minuten für die H. E. D.

nach Modernisierung des Apparates unter denselben Bedingungen  
HED. = 24–26 Minuten.

Nur 0,5 Zn-Filter = 20–22 Minuten.

Bei Verwendung von Glühkathodenröhren mit Wasserkühlung und bei 3,5–4 M. A. wird die H. E. D. in 14–16 Minuten erreicht.

Bei hoher Röhrenbelastung ist es nicht mehr ratsam, mit 23 cm F. H. A. zu arbeiten, die Gefahr einer Stromentladung auf den Patienten wäre zu groß. Wenn aber von 23 cm F. H. auf 40 cm F. H. übergegangen wird, dann verlängert sich die Bestrahlungszeit (infolge der Strahlenabnahme mit dem

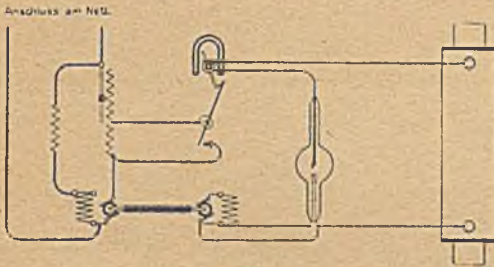


Fig. 12

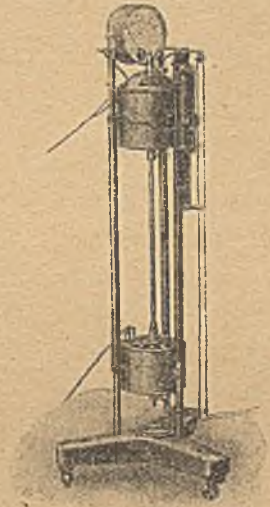


Fig. 13

Quadrat der Entfernung) um das Dreifache. Außerdem muß aber auch ganz außerordentlich exakt und gewissenhaft dosiert werden, denn bei der hohen Röhrenbelastung und der damit verbundenen großen quantitativen Strahlenleistung ist es eine gar kurze Spanne Zeit, welche zwischen Unterdosierung (Mißerfolg) und Ueberdosierung (Verbrennung) liegt.

Es ist also sowohl ökonomischer, als auch für den Patienten sicherer, eine Röhrenbelastung von 2 bis 2,5 Milli-Amp. zu wählen, wenn mit Kompressionslubussen gearbeitet wird.

Eine erhöhte Röhrenbelastung bietet nur dann einen Vorteil und sollte nur dann angewendet werden, wenn der Fokushautabstand mehr als 40 cm beträgt.

Zum Schlusse sei noch auf ein Instrument — den Spannungshärtemesser — beim Symmetrie-Instrumentarium hingewiesen. Dieser Härtemesser reagiert sofort, wenn die Röhre bzw. die Strahlung weicher wird, während bei den sogenannten Kilo-Voltmetern die Einstellung unverändert bleibt.



