

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

50X1-HUM

INFORMATION REPORT

This Document contains information affecting the National Defense of the United States, within the meaning of Title 18, Sections 793 and 794, of the U.S. Code, as amended. Its transmission or revelation of its contents to or receipt by an unauthorized person is prohibited by law. The reproduction of this form is prohibited.

CONFIDENTIAL

50X1-HUM
50X1-HUM

COUNTRY	Poland	REPORT	
SUBJECT	Alternating Current Network Analyzer at the Polytechnic Institute in Wroclaw	DATE DISTR.	23 June 1954
DATE OF INFO.		NO. OF PAGES	1
PLACE ACQUIRED		REQUIREMENT NO.	RD
		REFERENCES	

THE SOURCE EVALUATIONS IN THIS REPORT ARE DEFINITIVE.
THE APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE.
(FOR KEY SEE REVERSE)

[redacted] original and a translation of an article written in Polish concerning the alternating current network analyzer which was constructed by [redacted] the Laboratory for Prototypes of Electrical Measuring Devices in Warsaw. The article [redacted] was published in the Polish technical monthly, Energetyka No. 4/1952.

CONFIDENTIAL

50X1-HUM
50X1-HUM
50X1-HUM

APR 10 1954
MS 21
21 504

STATE	ARMY	NAVY	AIR	FBI	AEC			OGD	x
-------	------	------	-----	-----	-----	--	--	-----	---

(Note: Washington Distribution Indicated By "X"; Field Distribution By "#") Form No. 51-61, January 1953

CONFIDENTIAL

THE ALTERNATING CURRENT NETWORK ANALYZER AT THE ELECTRIC POWER LABORATORY OF THE POLYTECHNIC INSTITUTE IN WROCLAW 50X1-HUM
(POLAND)

Introduction

1. The growing industrialization of Poland and the demand for electric energy connected with it have posed many difficult electric grid problems for Polish experts in this field. A quick solution was required for these problems. (Dr.) J. KOZUCHOWSKI, a professor at the Polytechnic Institute in Wroclaw, in attempting to find a solution, thought of constructing an alternating current network analyzer. In the autumn of 1949 the design and the construction of such an analyzer was ordered in the Laboratory for Prototypes of Electrical Measuring Devices (PPAE) in Warsaw.
2. In the spring of 1950, after numerous difficulties connected with organizing the construction of such large equipment and obtaining the necessary materials, construction of the analyzer started. Source designed the analyzer, and supervised its construction with the assistance of K. TERLECKI in the mechanical assembly and A. KULAGOWSKI in the electrical connecting. Most of the component parts were made in the PPAE. When the parts were completed the analyzer was assembled in three weeks and put into operation in February 1951. By February 1952 the analyzer had been working almost constantly for a year. Many measurements of the Polish electric power grid and the development of new grid conceptions had been made with the analyzer during this time.
3. The importance of a continuous supply of electric energy for factories and plants was clear to everyone since a break in supply could cause considerable loss to the national economy. The electrical engineers who were in charge of the electric power grid to ensure uninterrupted supply of electric energy to the customers had to know the exact conditions under which the power system operated. This was a simple problem at the time of open and small closed networks. The solution of these problems was very simple mathematically. However, after the electrical grids were expanded and included numerous meshes and junction points, the problem was difficult to solve mathematically because it required a solution using equations with many unknown quantities. Moreover, the equations were different for each new condition of the network. The transient phenomena of electrical grids further complicated matters, because differential equations with the same number of unknown quantities had to be used instead of normal linear equations.

ENCLOSURE A

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

-2-

50X1-HUM

4. These difficulties forced the scientists to find a new method to solve this problem. The method consisted of constructing a laboratory model of the analyzed electrical network in which all the electrical quantities would be replaced by corresponding scaled down quantities. The model should have a versatile set of operating conditions to accomplish many optional experiments such as overloads, short circuits, breaks in the supply of energy etc. and, in addition, would have many measuring points which would be easily accessible. The alternating current network analyzer was the resulting model.
5. In addition to the problems mentioned above it was possible to solve, with the analyzer, other problems which were connected with the electric power grid as transient phenomena, such as the influence of the particular loads on the network, the best locations of new power sources, etc. It was also possible to apply the analyzer to the solution of many problems not connected with electricity at all.
6. The maximum accuracy of the AC network analyzer was about $\pm 2\%$. This was completely sufficient for the electric grid problems, since the data on loads, capacities, resistances, inductances, etc. of a real electric network were generally less accurate.

The Alternating Current Network Analyzer of the Polytechnic Institute in Wroclaw

7. According to the calculations, the analyzer was to have as many as 600 junction points. This requirement caused many additional difficulties. In the first place, the proper operating voltage and frequency had to be chosen to avoid the errors exceeding the assumed limits of the analyzer accuracy. (Errors can be caused by the residual resistance of the connecting wires and contacts, the residual capacitance of wiring, and also they can depend on the accuracy of the RCL model elements.)
8. Secondly, considering the necessity of using a large number of model RCL elements, it was necessary to apply the separate RCL model elements instead of the decade units. Consequently, a great economy of material and space was obtained, since the RCL elements, which were in operation, did not take up space in the analyzer. In addition, they could be used for modeling another part of the network. After experimenting it was possible to model, because of the above-mentioned system, three or four given networks simultaneously. The next very important point was the possibility of measuring quickly

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

any necessary electrical quantity at any point of the model network; this had to be accomplished in a way which ensured no error. It was accomplished by the total automatization of the measurements. After slight training, it was quite easy to measure in about 40 seconds all the basic quantities such as active power, reactive power, current, the voltage and phase angle of the current, and the voltage. There were 1,841 measuring points in the analyzer. The time necessary to connect the measuring instruments to any point of the model network was no longer than four to five seconds.

General Description

- 9. The analyzer consisted of two basic parts. The first part was a steel frame of 10.5 x 2.2 x 0.45 m. (32 ft. long, 6 ft. 9 in. high, and 18 in. deep). The frame was divided into 1,196 cells destined to place the "line" and "load" units. There were also 23 model generators placed in the frame. The other part was the measuring table. Its dimensions were 1.8 x 1.0 x 0.6 m. (6 ft. long, 40 in. high, 24 in. deep). The entire analyzer was placed in a room 12 x 7.5 m. (40 ft. long and 25 ft. wide). [See Figure 1, Enclosure B.] The control devices and meters of the model generators were placed on the front of the analyzer frame. The cells of the "line" units and of the "load" units were accessible from the back of the frame.
- 10. The three-phase grid at 110 kv line voltage with the maximum input power of 150 kva for each individual supplying point was considered the base for determining the electrical quantity scale of the analyzer, since such a grid had been the one mostly frequently analyzed (with the analyzer). After studying and calculations, the following scale was adopted:

	<u>Values in the Real Grid</u>	<u>Corresponding Values in the Model Grid</u>
Rated voltage	110 kv	63.5 v
Frequency	50 cps	500 cps
Tension	1 kv	$1/\sqrt{3}$ v
Current	1 a	0.2 ma
Power	1 mva	$0.2/\sqrt{3}$ va
Resistance	1 ohm	5 ohms
Impedance	1 ohm	5 ohms
Reactive conductivity	1 mho	0.2 mhos
Inductance	1 mh	0.5 mh
Capacitance	1,000 mmf	20 mmf

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

-4-

11. Resistors, inductors, and capacitors were used as the line elements. These elements were placed in Bakelite boxes with plugs. Figure 3, Enclosure B. To set a required model "line" unit of the individual RLC elements it was necessary to put them into one of the special, small exchangeable "line" panels which had corresponding sockets built in. These sockets were connected in such a way that, after putting the RLC elements and short circuit bars into the panel, a four pole "pi"-network resulted. Input and output of this "pi"-network was connected with the five-pin plug placed in one end of the panel. The circuit of the "pi"-network ("line" unit) is illustrated in Figure 5, Enclosure B. The load elements were made similarly to the line elements Figure 3, Enclosure B but to avoid mistakes, the Bakelite boxes were of a different color. To set a required load, the proper load elements were put into the corresponding sockets of a "load" panel. Figure 6, Enclosure B. The analyzer had 598 cells for the "line" units and 598 cells for the "load" units (junction points). These cells were numbered and had corresponding sockets connected with the measuring system. Each "load" cell had also a Bakelite strip with four binding posts representing a corresponding junction point.
12. When setting a model network it was first necessary to draw a plan of the electrical network to be measured marking the lines, the junction points, the loads, and the generators with the corresponding numbers of cells and model generators. Then the electrical quantities of the lines, loads, and other component parts of the real network would be determined on the model scale. After the above procedure it was possible to begin modeling. The first step was to place the corresponding RCL elements and "load" elements into the proper "line" and "load" panels. These "modeled" panels would be connected with the flexible insulated wires regarding the plane after pushing them into the corresponding cells which were marked with their proper numbers on the plan. Then all of the connected generators would be set approximately according to the plan. At this point test measuring could start during which generators and autotransformers would be adjusted several times to obtain the given power value of each generator.

The Model Network Elements of the Analyzer

13. The model network elements include the following:

CONFIDENTIAL

Resistors

Inductors of $X/R = 5$

Inductors of $X/R = 30$ to 50

Capacitors

Autotransformers

Compensators

Actual loads

Inductive loads

- a. The resistors were manufactured in units of .5, 1, 2, 4, 7, 10, 20, 40, 70 ohms. The system of 1, 2, 4, 7, was applied because only this system allowed the composing of each whole number from 1 to 10 (and even to 11) using only two units. It was possible to obtain any quantity between 1 and 110 ohms with an accuracy of 1 ohm using only 4 of these elements. In many cases the accuracy could be increased by adding a .5 ohm element. The elements were made with an accuracy of resistance of $\pm .5\%$. The resistors were wound of constantan wire by a method which ensured negligible inductance. The maximum working current for an element was .3 A.
- b. The inductors were made in the same way as the resistors. They were made in 2, 4, 10, 20, 40, 70, 100 and 200 ohms units (at $f = 500$ cps.) as copper wire coils with iron dust cores. The accuracy of inductance was $\pm 1\%$. The inductance varied with the current about 1% at maximum current. These inductors were of $Q = 5$ which was considered a small geometric size of these elements. In cases needing better Q , the elements described below were used.
- c. The inductors of $Q = 30$ to 50 [Figure 7, Enclosure B] were used to model the equivalent transformers and generators of the real grids. These elements were made in values from 2 to 200 ohms. Between 2 and 20 ohms they were made in steps of 2 ohms; between 20 and 200 ohms the steps were 20 ohms. This system allowed the composing of any reactance between 2 and 220 ohms only of two elements with an accuracy of 2 ohms. These elements were made as toroidal coils on the iron dust cores. The accuracy of inductance was $\pm 1\%$.

CONFIDENTIAL

~~CONFIDENTIAL~~

- d. The capacitors were in values of .5, 1, 2, 4, 7, 10, and 40 ohms. They were made of silvered and molded Bakelite mica condensers. The accuracy of capacitance was $\pm 1\%$.
- e. The following data pertains to the regulated auto-transformers:
- Maximum load.....15 va which corresponded to
220 mva in the real 110
kv grid
- Range of regulation..... +20% to -30% in steps of 1%
- No-load loss.....about .4%
- Maximum efficiency.....about 99.3%
- The autotransformers could be used to match the rated voltages for the loads or as the grid intermediate transformers.
- f. The compensators were made of styroflex and of mica condensers in values corresponding 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20 and 30 mvAr at 110 kv.
- g. The active loads elements (pure resistance) were made in number of 600 units in values corresponding at 110 kv to the power between 1 and 10 mw in steps of 10 mw.
- h. The inductive loads elements were made at $X/R = 5$ ($\cos =$ about .2) in the same values as the active elements, but the upper limit was increased to 100 mvAr. The elements described in Subparagraphs g. and h. were placed in the Bakelite boxes as were the line elements, but the boxes were of another color to distinguish one from the other.

The Generators

14. Each of the 23 model generators could replace a real generator or power plant of the maximum power 150 MVA at the rated voltage 110 kv. This power corresponded to 10 va at 63.5 v rated voltage in the analyzer. The generators worked in the circuit of two coupled phase shifters Figure 8, Enclosure B. connected as illustrated Figure 9, Enclosure B. The rotation of the coupled rotors gave continuous voltage control between 20 and 90 v. The adjustment of the phase angle was controlled by the dial placed on the front panel of the

~~CONFIDENTIAL~~

~~CONFIDENTIAL~~

-7-

50X1-HUM

generator. Figure 10, Enclosure B. The accuracy of the adjustment was about ± 20 minutes. The voltage was controlled with an accuracy of $\pm 3\%$ by the copper oxide rectifier voltmeter also placed on the front panel of the generator. It was necessary to connect each generator to the main measuring system to get a better accuracy of the voltage. The course control of the generator current was accomplished by the copper oxide rectifier ammeter which could be connected temporarily by a push-button switch. A short circuit was normally placed on each ammeter to avoid the undesired voltage drop. The inductance of the generating system was compensated with a corresponding condenser C. It was made to avoid the phase shift at the active load. The generators were supplied from the common line $3 \times 40 \text{ v} - 500 \text{ cps}$.

The Measuring System

15. The analyzer was one of the largest AC analyzers in the world. As mentioned above, so great a number of measuring points made it necessary to design a system which allowed the measuring system to be quickly connected to any measuring point of the analyzer. At the same time it was essential that this problem be accomplished with regard to the low capacitance and low resistance of the connecting wires and elements.
16. The "calling" system of the measuring points was accomplished by telephone type relays. Siemens type, double contact "flat" relays were used to ensure good results. A special "cascade" connecting system of relays was used to decrease the residual capacitance of the "hanging" contact springs. This system gave in the poorest instance only 26 parallel connected contact springs which gave about 260 mmf residual ground capacitance, since a single contact spring had only 10 mmf ground capacitance. To the contact spring capacitance add the capacitance of the sockets in the "line" and "load" units, the capacitance of the measuring current and voltage transformers, the capacitance of the wiring and the coaxial cable which connects the measuring table with the analyzer frame. Considering this, the sockets in the "line" and "load" panels were made of very low capacitance; this was obtained by partial air insulation. The measuring transformers also had a very low capacitance between the windings and against the ground. All wiring was arranged in a special way to ensure the minimum capacitance. As a result the total residual capacitance was only 1,700 mmf for the most remote measuring point which gave the loss of power only 20 mvAr (corresponding about .3 mvAr at 110 kv)..

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

50X1-HUM

-8-

17. The residual resistance was also very small. Its value was about .8 ohms for the most remote measuring point. It gave a 20 mw loss of power (corresponding .3 mw at 110 kv) at maximum current 160 mA. These residual values were negligible in the measurements because they were below the accuracy of the real electric grids.
18. The following points of the analyzing network were accessible to measurement:
- a. The left side of the "pi"-network.....598 points
(current measuring)
 - b. The right side of the "pi"-network.....598 points
(current measuring)
 - c. The junction point.....598 points
(voltage measuring)
 - d. The ground potential..... 1 point
(voltage measuring)
 - e. The generators: voltage measuring..... 23 points
current measuring..... 23 points
- Total..1841 points

19. Each of these points was served by a relay (so-called "unit" relay). The relays which connected the voltage points had only to connect the required model network point to the measuring system. The relays serving the current measuring points had to break the circuit being measured and to connect the current measuring system across the broken terminals. The relays were divided into three groups each of 600 units. Two groups were "current" groups; one was the "voltage" group. All of the relays were mounted in the 23 steel racks which were placed behind the generators on the back of the analyzer frame. The relay racks without cover are visible in the upper part of Figure 2, Enclosure B.

The Measuring Table

20. The measuring table Figure 11, Enclosure B. of 1.8 x 1.0 x 0.6 m. (6 ft. long, 40 in. high and 24 in. deep), was the brain of the analyzer. It included the following parts Figure 12, Enclosure B.:
- a. The measuring system which consisted of:

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

50X1-HUM

-9-

- (1) Three electrodynometers which measured the voltage, the current, and the power.
 - (2) The voltage and the current amplifiers.
 - (3) The DC power supplies for the amplifiers.
 - (4) The constant voltage transformers.
 - (5) The calibrating circuit.
 - (6) The cathode ray tube with the corresponding amplifier and the phase shifter to measure the current and the voltage phase angle.
 - (7) The voltage measuring transformer and the voltage divider.
- b. The calling and signaling system with the rectifiers giving 24 v DC to supply the relay circuits and the 24 v transformer to supply the signal lamps.
21. The electrodynometers were in a horizontal position under a glass plate in the middle front of the table. Their scales were lighted. The operating panel was placed a little above. The push buttons operating the analyzer were placed on it. The light control signaling plates were above and on both sides of the operating panel. The cathode ray tube with the phase shifter for measuring the phase shift was on the right side of the measuring table.

The Measuring System

22. The analyzer measuring system was designed to measure the following quantities:
- a. The current in both branches of each "pi"-network and in each generator
 - b. The voltage between each junction point and the ground, or between each generator and the ground
 - c. The voltage between any two junction points, generators, or generator and junction point
 - d. Active or reactive power as the result of any combination of the above mentioned voltages and currents

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

-10-

50X1-HUM

- e. The phase shift of any current or voltage in respect to the basic voltage which has no phase shift in comparison to the generator voltage set on 0° of the phase angle.
- f. Impedance indirectly according to the following formula:

$$Z = R + jX \frac{\text{active power}}{I^2} + j \frac{\text{reactive power}}{I^2}$$

23. The electrodynometers which were used on the measuring table were of the astatic type with an accuracy of $\pm .5\%$ for the voltage and the current measuring. The power measuring accuracy of the meter was $\pm .2\%$. All of these meters gave the full scale at a current of 20 mA. The moving and the standing coil of the ammeter were connected in series. The coils in the voltmeter were connected in series with the voltmeter, and its standing coil connected in series with the ammeter. The meters, of course; could not be directly connected to the model network since their considerable consumption of power would have resulted in completely false measuring. The values of the power appearing in the model network were considered extremely low.
24. To avoid having the meters influence the model network, two measuring amplifiers were applied. One was used in the current measuring system, the other in the voltage measuring system. The current amplifier was a three-stage amplifier with which was used a special kind of negative feedback. Because of that the phase shift between the input voltage coming from the current shunt and the output current was within 10° which was additionally compensated. Also the amplification was almost independent on the variation of the AC main voltage and the characteristics of the tubes used in the amplifier. The amplifier gave the full scale of the meters at 50 mv input voltage. The input voltage came from the symmetrical current measuring transformer with the ratio of 1:5. The transformer winding of a smaller number of turns was connected across the variable shunt selected by the range relays. There were 9 full scale ranges: 1,000, 500, 200, 100, 50, 20, 5 and 2 ma. The voltage drop on the shunt for each range was 10 mv at the full load.
25. The other amplifier was similarly constructed and was designed to work in the voltage measuring system. The full scale was obtained at the .5 v input voltage directly impressed to the grid of the first amplifier tube. Because the input voltage came through the symmetrical voltage measuring transformer with the ratio of 10:1, the full scale of the meter was obtained at the lowest input voltage of 5 v. Between the transformer

CONFIDENTIAL

50X1-HUM

and the first amplifier tube the voltage divider was placed; it had five selected full scale ranges: 100, 50, 20, 10 and 5 v. The input impedance of the voltage measuring system was 2 m constant for each range. Between the input stage and two following stages of the voltage amplifier, a resonance circuit tuned for 500 cps was placed. It was designed to obtain the 90° phase shift at reactive power measuring. The general circuit of the analyzer measuring system is illustrated in Figure 13, Enclosure B. Each of the amplifiers had its individual power supply and a constant voltage transformer.

26. The maximum total error of the measuring system did not exceed $\pm 1\%$.
27. The measuring system could be calibrated at any time by the 500 cps calibrating voltage which was impressed through the corresponding voltage divider to the input circuit of both amplifiers at the time of calibrating. The calibrating voltage came from a bridge circuit formed of two constant resistors and two thermistors. The bridge was arranged in such a way that the input voltage variation of $\pm 20\%$ caused only $\pm .5\%$ variation of the input voltage.
28. A cathode ray tube with the corresponding one-stage amplifier with gain control and an inductive phase shifter with the 360° scale were used to measure the phase shift. The accuracy of the phase shift measuring was better than $\pm 20'$.
29. After one year's experience the total error of the analyzer did not exceed $\pm 2\%$. Thus, the accuracy of this analyzer is not less than the accuracy of the known analyzers of other countries.

The Calling and Signaling System

30. The whole operation of connecting the measuring system was accomplished by push-button switches mounted on the operating panel which was placed horizontally on the top part of the measuring table. Calling the required measuring point was accomplished in the following way: after setting the analyzer to work, one of three "group" push buttons was pressed. The push buttons were marked: CURRENT A (which served 598 current measuring points of the left branches in the line "pi"-networks), CURRENT B - GENERATORS (which served 598 current points of the right branches in the line "pi"-networks and 23 current

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

-12-

50X1-HUM

measuring points of the generators), and VOLTAGE (which served 599 voltage measuring points - junction points - and 23 generator voltage measuring points). Then one of the required points in the chosen group was called by pushing the corresponding three push buttons from the ten "calling" push buttons marked with the figures 0 to 9. After a current point was called, it was possible to switch the "calling" push buttons to the voltage group, and to call a voltage point by pressing the VOLTAGE "group" push button which did not cancel the previously called current point. It was necessary to connect two points of the model network system for measuring voltage. One of these points could be the ground potential. Six push buttons from the "calling" buttons had to be pushed, one after another, to accomplish the measurement. The first three connected the first voltage point and the following three connected the next point.

31. All operations were controlled by lights on the glass plates placed on both sides of the measuring table. The connection of the measuring system to one of the groups of the measuring points was signaled first. Next came the lighted figures controlling the ordinal number of the called point. At last the control lamp lights signaled that the corresponding "unit" relay acted. This relay connected the measuring point directly to the measuring system. In addition, there were the lighted control signs indicating whether or not a generator or junction point was measured and other signs which gave the direction of the current and the voltage.
32. The entire calling system based on relays was so designed that there was no possibility of connecting, for example, two current points simultaneously. To call another measuring point it was necessary to press only the proper "group" push button. This operation canceled the last connection and prepared the calling and the measuring systems to call a new point.
33. After a required point was called, the meters had to be set for the proper range. This was accomplished by pushing one of the nine "range" push buttons for the ammeter and one of the five "range" push buttons for the voltmeter. The change of ranges was signaled on the lighting plate placed above the calling panel. The lighted signs gave, each time, the number of the milli-amperes, volts, watts or VARs (reactive power units) per one grade of the instrument scales. This helped the analyzer operator, because, after several hours of measuring, he was tired and could easily make a mistake by taking the improper range. Canceling a connection with a

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

-13-

50X1-HUM

measuring automatically sets the instruments in the least sensitive range to avoid possible damage in the event of a new connection.

34. Besides the devices, mentioned above, there were additional push buttons on the measuring table with which to change the current direction, to set the power meter from active to reactive power measuring, and to connect the measured voltage or current to the phase shift meter. There was also a special push button for giving the calibrating voltage for the calibration of the instruments. After pressing that push button all of the instruments gave full scale. The special potentiometers, tuned by a screw driver, permit correction of eventual differences. The potentiometers were placed under the operating panel.
35. The details described above show that the analyzer was designed with particular regard to obtaining the greatest automatization and accuracy in measuring. It was made in a way to allow the operator to give his complete attention to reading the instruments.

The Power Supply

36. The power supply consisted of a 500 va three-phase generator working at the frequency 500 cps. The rated voltage of the generator was 3 x 140 v. After the generator was placed the three-phase low pass filter cutting the harmonics until .8%. Then the voltage was reduced by the corresponding transformers to 3 x 40 v. This voltage fed the common three-phase line supplying the model generators. This supply was provisory, because in the Laboratory of Electric Prototype Devices in Warsaw a special 500 cps. three-phase power generator of 10 kva was in the last stage of construction. This generator was to have the electronic stabilization of the voltage and the frequency with an accuracy of $\pm 0.1\%$ of both. The generator would be driven from a special direct current motor which was being constructed in the same laboratory.

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

Descriptions of illustrations in the enclosed Polish text: 50X1-HUM

- Figure 1: General view of the alternating current network analyzer.
- Figure 2: Rear view of the alternating current network analyzer.
- Figure 3: The model network elements.
- Figure 4: The line panel with model p network.
- Figure 5: The circuit of p network.
- Figure 6: The load panel.
- Figure 7: Inductors with high Q.
- Figure 8: The coupled generators face shifters.
- Figure 9: The circuit of model generator.
- Figure 10: The front plate of the model generator.
- Figure 11: The measuring table.
- Figure 12: Rear view of the measuring table.
- Figure 13: General circuit of measuring system.

ENCLOSURE B

CONFIDENTIAL

Analizator sieci prądu zmiennego

Zakładu Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej¹⁾

50X1-HUM

Pracownia Prototypów Aparatów Elektr. Politechniki Wrocławskiej

Coraz bardziej rosnące uprzemysłowienie kraju i związane z tym zapotrzebowanie na energię elektryczną wysunęło przed energetykę polską trudne problemy sieci elektrycznych, domagające się szybkiego rozwiązania.

Zagadnienia te nasunęły Dr. inż. J. Kozuchowskiemu, Prof. Politechniki Wrocławskiej myśl zbudowania analizatora prądu zmiennego, którego wykonanie zlecił jesienią 1949 r. swojej pracowni.

Po upływie kilku miesięcy, tj. na wiosnę 1950 r., gdy dojrzała już koncepcja rozwiązania konstrukcyjnego analizatora i pokonano trudności związane z zapatrzeniem materiałowym i budową tak dużego obiektu, przystąpiono w Pracowni Prototypów Aparatów Elektrycznych (PPAE) do jego budowy.

Autor artykułu opracował projekt, całkowitą dokumentację techniczną i kierował budową analizatora. Montaż mechaniczny prowadził inż. K. Terlecki, kablowanie i montaż urządzeń teletechnicznych — inż. A. Kufagowski.

Prawie wszystkie części analizatora zostały wykonane w PPAE. Następnie w rekordowo krótkim czasie, bo zaledwie w ciągu trzech tygodni, analizator został całkowicie zmontowany i uruchomiony w lutym 1951. Wynik ten należy zawdzięczać ofiarnej pracy zespołu pracowników PPAE.

Obecnie mija rok od chwili uruchomienia analizatora.

W ciągu tego całego czasu analizator bez przerwy był i jest intensywnie eksploatowany. Przy jego pomocy dokonano już całego szeregu pomiarów sieci elektrycznych wielu okręgów energetycznych kraju, jak również opracowano szereg wypadków awaryjnych i założeń projektowych rozbudowy sieci.

Z ważności ciągłości dopływu energii elektrycznej do zakładów produkcyjnych każdy zdaje sobie sprawę. Przerwa w dopływie energii elektrycznej naraża gospodarke krajową na duże straty. Inżynier energetyk mający przed sobą ważne zadanie czuwania nad sprawną pracą układów energetycznych, zapewniających regularny i nieprzerwany dopływ energii elektrycznej do odbiorców, musi dokładnie znać warunki panujące w sieci. Zagadnienie to stosunkowo proste w dobie sieci otwartych i małych sieci zamkniętych, dawało się dosyć łatwo rozwiązać matematycznie. Obecnie jednak, gdy sieci elektryczne zostały rozbudowane i obejmują wiele oczek i węzłów, zagadnienia te przedstawiają wiele trudności przy rozwiązywaniu drogą analizy matematycznej; wymagają bowiem rozwiązania układu równań o wielu niewiadomych, innego dla każdego stanu sieci, co pochłania wiele cennego czasu.

Dla stanów przejściowych sprawa komplikuje się jeszcze bardziej, gdyż zamiast układu zwykłych równań o wielu niewiadomych trzeba rozwiązać układ równań różniczkowych z tą samą ilością niewiadomych.

Trudności te zmusiły energetyków do opracowania innego sposobu rozwiązywania tych zagadnień. Wykonanie w laboratorium modelu sieci badanej, w której parametry odpowiadające sieci naturalnej byłyby przedstawione w skali znacznie zmniejszonej, o łatwo dostępnych punktach pomiaru żądanych wielkości oraz możliwości dowolnych eksperymentów, przeciężeń, zwarć, przerw w przesyłce energii elektrycznej, dowolnej zmianie obciążeń, linii itp. rozwiązałyby to trudne zagadnienie.

Model taki — to właśnie analizator sieci prądu zmiennego.

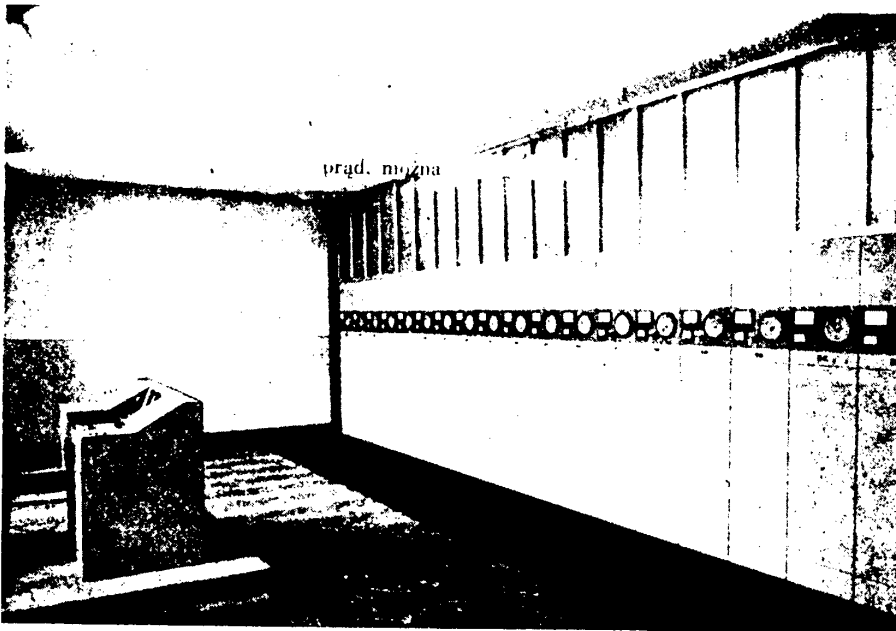
Oprócz zagadnień podanych powyżej można na analizatorze prądu zmiennego rozwiązywać wiele innych zagadnień związanych z energetyką, jak np. stany przejściowe, wpływ na sieć obciążeń o szczególnych charakterystykach, najlepsza lokacja nowych źródeł energii i wiele innych, nie mówiąc już o zastosowaniu analizatora do badania elementów z dziedzin nie mających nic wspólnego z elektrotechniką.

Dokładność osiągnięta przy pomiarach na analizatorze prądu zmiennego wynosi około 2%, co w zupełności wystarcza dla zagadnień sieciowych w praktyce, gdyż dane rzeczywistych linii elektrycznych, obciążeń itp. najczęściej leżą znacznie poniżej tej dokładności.

Analizator sieci prądu zmiennego Politechniki Wrocławskiej

Ze względu na to, że według założenia analizator miał posiadać aż 600 węzłów, musiano przy jego budowie rozwiązać szereg dodatkowych zagadnień, a więc w pierwszym rzędzie dobrać odpowiednie napięcie pracy i częstotliwość (błędy spowodowane opornościami przewodów i styków oraz pojemnościami szkodliwymi układu musiały leżeć w granicach dokładności wykonania elementów i dokładności pomiarów). Po drugie ze względu na potrzebę użycia bardzo dużej ilości elementów trzeba było zastosować metodę oddzielnych elementów wymiennych, zamiast kadak. Użytkowano w ten sposób dużą oszczędność materiału i miejsca, ponieważ elementy niewykorzystane nie zajmują miejsca w analizatorze, a wolne elementy mogą być użyte do odtworzenia innego odcinka sieci lub obciążenia. Jak wykazała praktyka, można dzięki temu systemowi zamodelować i badać trzy a nawet cztery zadane układy sieci równocześnie. Innym punktem bardzo ważnym było umożliwienie szybkiego pomiaru żądanych wielkości elektrycznych w dowolnym miejscu

¹⁾ Odbitka z czasopiisma „Energetyka” Nr 4 1952.



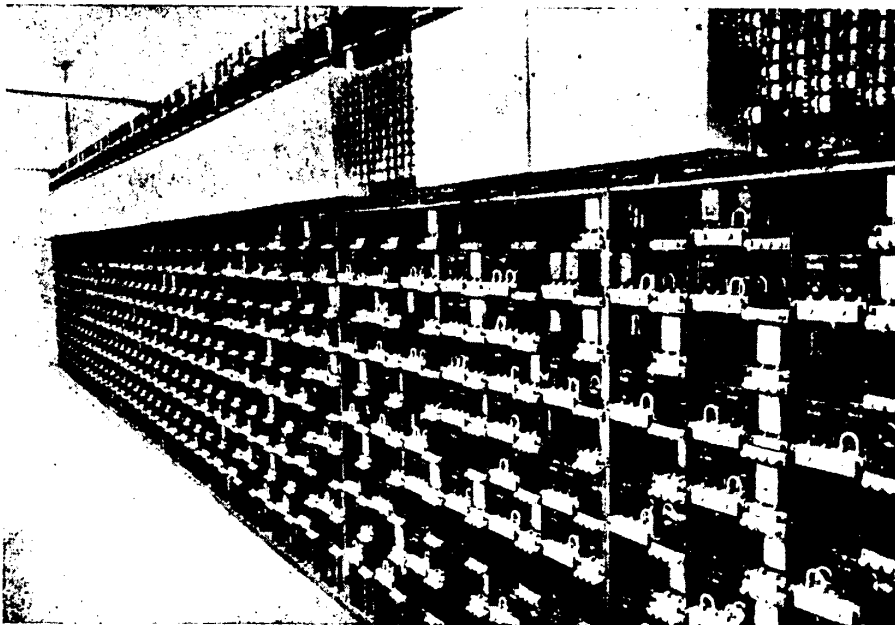
Rys. 1. Ogólny widok analizatora.

modelu sieci i to w sposób, uniemożliwiający po myłki. Uzyskano to przez całkowite zautomatyzowanie pomiarów, tak że przy pewnej wprawie pomiar wielkości zasadniczych, tj. mocy czynnej, biernej, prądu, napięcia oraz kąta fazowego prądu i napięcia zabiera około 40 sekund. Włączenie systemu pomiarowego do każdego dowolnego punktu sieci (ogólna ilość punktów

pomiarowych 1841) trwa zaledwie również kilka sekund.

Opis ogólny

Analizator składa się zasadniczo z dwóch części. Pierwsza część — to konstrukcja żelazna o wymiarach $10,5 \times 2,2 \times 0,45$ m podzielona na 1196 komórek



Rys. 2. Konstrukcja analizatora widziana od tyłu.

CONFIDENTIAL

50X1-HUM

3

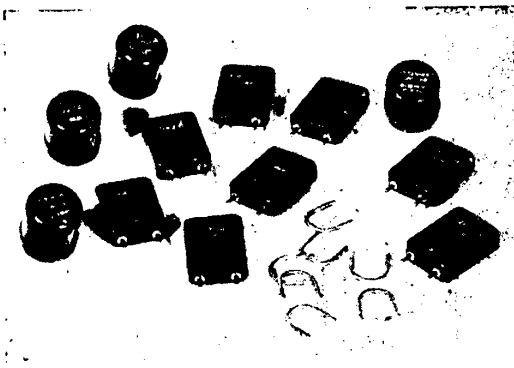
przeznaczonych do wsuwania szufladek z elementami odtwarzającymi parametry sieci. W konstrukcji tej umieszczone są też modele 23 generatorów. Druga część - to stół pomiarowy o wymiarach $1,8 \times 1,0 \times 0,6$ m. Całość umieszczona jest w sali o wymiarach $12 \times 7,5$ m. Widok ogólny analizatora przedstawia rys. 1.

Na froncie konstrukcji umieszczone są organy regulacyjne i mierniki kontrolne modeli generatorów. Do stępu do komórek z szufladkami przewidziany jest od tyłu konstrukcji analizatora (rys. 2).

Przy ustalaniu skali wielkości elektrycznych analizatora przyjęto za podstawę normalne wartości sieci elektrycznej trójfazowej o napięciu międzyprzewodowym 110 kV jako sieci najczęściej odwzorowywanej na analizatorze, o mocy maksymalnej dla poszczególnego punktu zasilania do 150 MVA.

Po rozważeniu i przeliczeniach wstępnych wybrano następującą skalę:

	Sieć normalna	Sieć modelowa
napięcie nominalne	110 kV	63,5 V
częstotliwość	50 c/s	500 c/s
napięcie	1 kV	$1/\sqrt{3}$ V
prąd	1 A	0,2 mA
moc	1 MVA	0,23 VA
opór czynny	1 om	5 om
„ bierny	1 om	5 om
przewodność bierna	1 S	0,2 S
indukcyjność	1 mH	0,5 mH
pojemność	1000 pF	20 pF.

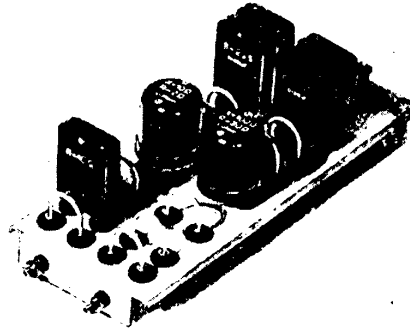


Rys. 3. Elementy liniowe i obciążenia.

Elementy sieci stanowią opory rzeczywiste, indukcyjne i pojemnościowe. Elementy te umieszczone są w pudełkach bakelitowych z zaprasowanymi wtyczkami (rys. 3). Aby z pojedynczych elementów ułożyć żądany czwórnik zastępujący pewną linię elektryczną, wtyka się elementy o odpowiednich wartościach do gniazd wymiennej szufladki „liniowej” (rys. 4), przy czym gniazda te są na stałe połączone w ten sposób, że po włożeniu elementów i zwiercacy na miejsca wolne, niezajęte przez elementy, powstaje czwórnik typu „pi”. Wejście i wyjście tego czwornika doprowadzone jest do wtyczki wielokrotnej umieszczonej na szufladce. Układ połączeń czwornika przedstawia rys. 5.

Podobnie wykonane są elementy odbiorów (rys.3); aby jednak nie popełniać omyłek, pudełka bakelitowe

wykonane są z bakelitu o innym kolorze. I tu podobnie jak przy zestawianiu czwornika, żądany „odbior” uzyskuje się przez włożenie odpowiednich elementów odbiorowych do gniazd szufladki „odbiorowej” (rys.6).



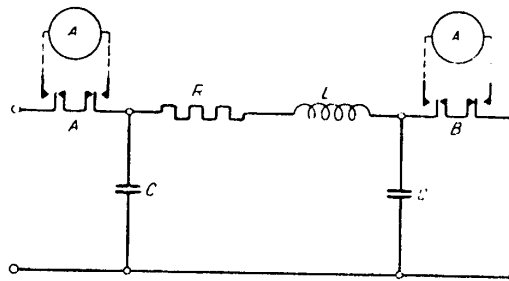
Rys. 4. Szufladka „liniowa” z zamodelowaną linią elektryczną.

Analizator obejmuje 598 przegródek na szufladki liniowe i tyleż samo przegródek na szufladki odbiorowe (węzły). Przegródki te mają odpowiednio numerowane gniazda wielokrotne, połączone z układem pomiarowym; przegródki odbiorowe mają ponadto wyprowadzenia czterozaciskowe umieszczone na listwach bakelitowych, stanowiących odpowiedniki węzłów sieci.

Aby wykonać układ modelowy badanej sieci, należy najpierw narysować układ badany, oznaczając linie i węzły oraz generatory i odbiory odpowiednimi numerami komórek i generatorów analizatora.

Następnie należy wyrazić wielkości linii rzeczywistych, odbiorów i innych elementów w skali analizatora. Mając taki schemat, można przystąpić do modelowania. Rozpoczyna się od odtwarzania linii przez wtykanie odpowiednich elementów do gniazd szufladek liniowych, a następnie w ten sam sposób odtwarza się odbiory i inne wielkości. Po wsunięciu szufladek już zamodelowanych do odpowiednich komórek (zaznaczonych numerami na schemacie), łączy się odpowiednie zaciski zamodelowanych wielkości przy pomocy giętkich przewodów.

Po nastawieniu włączonych w układ modelowy generatorów na wartości zbliżone do danych, rozpoczyna się wstępne pomiary i następnie korygując kilkakrotnie nastawienie generatorów i autotransformatorów, otrzymuje się żądany rozpliw mocy.



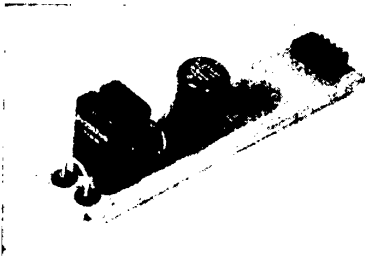
Rys. 5. Układ połączeń szufladki liniowej.

CONFIDENTIAL

Elementy sieci analizatora

Do modelowania zostały wykonane następujące rodzaje elementów:

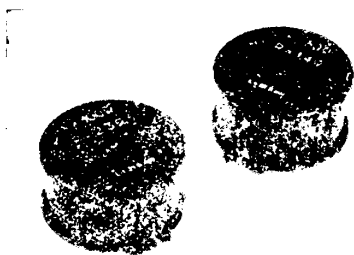
1. opory rzeczywiste,
2. opory indukcyjne o stosunku $X/R = 5$,
3. opory indukcyjne o stosunku $X/R = 30$ do 50,
4. elementy pojemnościowe,
5. autotransformatory,
6. kompensatory,
7. odbiory rzeczywiste,
8. odbiory indukcyjne.



Rys. 6. Szufladka obciążeniowa.

1. Opory rzeczywiste wykonane zostały w wielkościach: 0,5, 1, 2, 4, 7, 10, 20, 40, 70 omów. Układ 1, 2, 4, 7 został przyjęty dlatego, że tylko w tym układzie można z dwóch elementów tego układu utworzyć wszystkie liczby całkowite od 1 do 10 (a nawet do 11). Z elementów tych używając najwyżej 4 elementów, ułożyć można dowolną wartość od 1 do 110 omów z dokładnością do 1 oma, przy czym w niektórych wypadkach można uzyskać większą dokładność przez użycie elementu 0,5 oma. Dokładność wykonania elementów wynosi $\pm 0,5\%$. Opory do elementów nawinięte są drutem konstantanowym metodą zapewniającą małą indukcyjność. Maksymalne obciążenie elementów wynosi 0,3 A.

2. Opory indukcyjne wykonane są w podobnym układzie jak opory rzeczywiste. Przyjęte zostały następujące wielkości: 2, 4, 10, 20, 40, 70, 100 i 200 om. Elementy wykonane są jako cewki nawinięte drutem miedzianym emaliowanym na rdzeniach proszkowych typu zamkniętego; dokładność wykonania jest rzędu $\pm 1\%$. Zależność indukcyjności od prądu płynącego w uzwojeniu nie przekracza przy maksymalnym prądzie w najgorszym wypadku 1% . Stosunek oporu indukcyjnego do oporu rzeczywistego dla 500 c/s wynosi 5. Tak niski stosunek został przyjęty celem uży-



Rys. 7. Elementy indukcyjne o dużej dobroci

skania małych wymiarów elementów. W wypadkach, kiedy wymagany jest duży stosunek X/R , stosuje się elementy specjalne, opisane poniżej.

3. Opory indukcyjne o dużej dobroci ($X/R = 30 - 50$) (rys. 7) służą do modelowania transformatorów i generatorów występujących w sieciach rzeczywistych. Wykonane są one w wielkościach od 2 do 200 omów; od 2 do 20 omów co 2 om, od 20 do 200 omów co 20 omów. Układ ten pozwala na zestawienie każdej dowolnej wielkości od 2 do 220 omów z dokładnością do 2 omów tylko z dwóch elementów. Elementy te wykonane są na toroidalnych rdzeniach proszkowych. Dokładność wykonania $\pm 1\%$.

4. Elementy pojemnościowe wykonane zostały w wielkościach: 0,5, 1, 2, 4, 7, 10, 20 i 40 mikrosimensonów. Do wykonania tych elementów użyto kondensatorów mikrowych srebrzonych lub zaprasowanych w bakelicie. Dokładność wykonania: $\pm 1\%$.

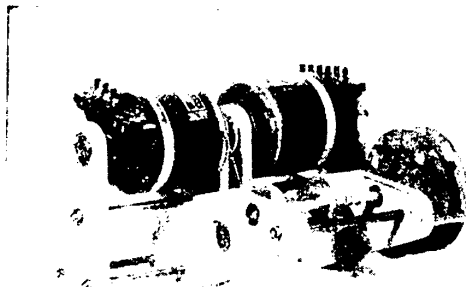
5. Autotransformatory mają następujące dane: Obciążenie maksymalne 15 VA, co odpowiada 220 MVA dla sieci 110 kV.

Zakres regulacji: $+20\%$ do -30% regulowane co 1% .

Napięcie znamionowe: 63,5 V.

Straty biegu jałowego około $0,4\%$.

Sprawność maksymalna: około $99,3\%$.



Rys. 8. Zespół przesuwników fazowych generatora modelowego.

Autotransformatory te mogą być stosowane dla dobrania znamionowego napięcia dla odbiorów lub też jako transformatory międzysystemowe.

6. Kompensatory wykonane są w wielkościach odpowiadających 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20 i 30 MVar przy 110 kV. Do wykonania ich użyto kondensatorów styrolakowych i mikrowych.

7. Elementy odbiorowe mocy czynnej (oporowe) w ilości 600 sztuk odpowiadające dla 110 kV napięcia mocy od 1 do 10 MW w wielkościach co 1 MW, a powyżej 10 MW do 50 MW co 10 MW.

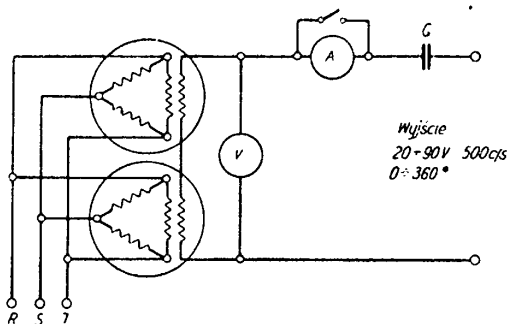
8. Elementy odbiorowe indukcyjne przy $X/R = 5$ ($\cos \varphi = 0,2$) w wielkościach podobnie jak elementy oporowe, jednak z rozszerzeniem zakresu aż do 100 MVar.

Elementy wymienione w p. 7 i 8 wykonane są podobnie jak odpowiednie elementy liniowe w pudełkach

bakelitowych z tym, że dla łatwego odróżnienia zastosowano inny kolor bakelitu.

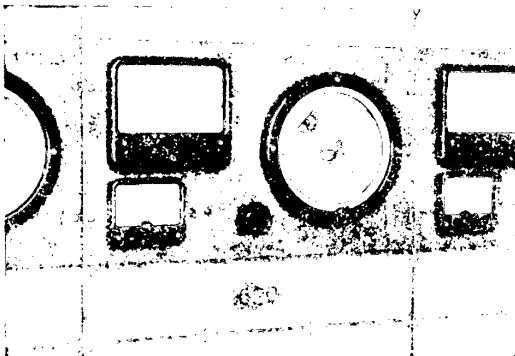
Generatory

Każdy z 23 generatorów może zastąpić generator rzeczywisty o mocy maksymalnej 150 MVA przy napięciu znamionowym 110 kV. Odpowiada to w wykonaniu modelowym mocy 10 VA przy napięciu znamionowym 63,5 V.



Rys. 9. Układ połączeń generatora modelowego.

Generatory te pracują w układzie dwóch przesuwników fazowych sprzężonych ze sobą (rys. 8) połączonych jak na rys. 9. Obrót wirników sprzężonych ze sobą pozwala na płynne przesunięcie fazy w granicach od 0 do 360°, natomiast obrót przeciwny stojanów przesuwników fazowych daje płynną regulację napięcia w granicach od około 20 do 90 V. Nastawienie kąta fazowego można odczytać na skali umieszczonej na froncie generatora (rys. 10), przy czym dokładność nastawienia zamyka się w granicach około $\pm 20'$. Napięcie odczytuje się na wbudowanym woltomierzu magnetoelektrycznym z prostownikiem, z dokładnością około $\pm 3\%$; dla dokładniejszego odczytu napięcia trzeba generator włączyć do układu pomiarowego stołu. Przy nastawianiu generatora można skontrolować prąd generatora przy pomocy wbudowanego amperomierza, włączanego przyciskiem. Amperomierz ten jest normalnie zwarty, aby uniknąć niepożądanego spadku napięcia na nim. Indukcyjność układu jest skompensowana kondensatorem C odpowiedniej wielkości, aby zapobiec spadkowi napięcia przy obciążeniu



Rys. 10. Front generatora modelowego.

niu indukcyjnym i przesunięciu fazowym przy obciążeniu omowym. Generatory zasilane są ze wspólnych szyn $3 \times 10 \text{ V} - 500 \text{ c/s}$.

System pomiarowy.

Opisany analizator jest jednym z największych analizatorów prądu zmiennego. Jak już przedtem zaznaczono, tak duża ilość punktów pomiarowych stworzyła konieczność opracowania takiego systemu pomiarowego, który pozwala na bardzo szybkie włączanie układu pomiarowego w dowolny punkt pomiarowy sieci modelowej. Równocześnie musiano zwrócić szczególną uwagę na małopojemnościowe rozwiązanie tego zadania, jak również na osiągnięcie małych oporów przewodów pomiarowych, łącznie z oporami styków.

System wywołujący punkty pomiarowe rozwiązany został przy pomocy przekaźników teletechnicznych. Aby zapewnić dobre działanie układu, zastosowano przekaźniki płaskie, dwustykowe typu Siemens. W celu uniknięcia szkodliwej pojemności „wiszących” sprężyn przekaźników został zastosowany system „kaskadowy” łączenia przekaźników, co daje w najgorszym wypadku równoczesne połączenie 26 sprężyn równolegle. Ponieważ pojemność jednej sprężyny do masy wynosi około 10 pF, przeto cały układ sprężyn w najgorszym wypadku ma około 260 pF pojemności szkodliwej. Do pojemności sprężyn dochodzą jeszcze: pojemność gniazd w szufladkach liniowych i odbiorowych, pojemność transformatorów pomiarowych (napięciowego i prądowego) oraz pojemność połączeń kablowych wraz z pojemnością kabla pomiarowego łączącego stół pomiarowy z konstrukcją analizatora. Uwzględniając to, zastosowano w szufladkach gniazda o bardzo małej pojemności z częściową izolacją powietrzną i specjalne transformatory pomiarowe posiadające również bardzo małą pojemność. Oprócz tego przestrzegano możliwie małopojemnościowego kładzenia przewodów oraz zastosowano specjalny kabel pomiarowy. Dzięki tym ostrożnościom udało się uzyskać sumaryczną pojemność wynoszącą zaledwie około 1700 pF dla najdalej leżącego punktu pomiarowego, co odpowiada stracie mocy około 20 mVA (odpowiadające około 0,3 MVA dla 110 kV).

Podobnie przedstawia się sprawa oporności szkodliwej, która w najgorszym wypadku dla najdłuższych przewodów wynosi około 0,8 oma. Daje to przy maksymalnym prądzie 160 mA stratę mocy około 20 mW (odpowiadającą około 0,3 MW dla 110 kV).

Ponieważ wielkości te leżą poniżej dokładności danych sieci elektrycznych, można je przy pomiarach na analizatorze pominąć.

Do pomiarów dostępne są następujące punkty układu:

1. lewa gałąź		
czwornika	(pomiar prądu)	598 punktów
2. prawa gałąź		
czwornika	(pomiar prądu)	598 „
3. węzeł	(pomiar napięcia)	598 „
4. masa	(pomiar napięcia)	1 „
5. generatory	a. pomiar napięcia	23 „
	b. pomiar prądu	23 „

r a z e m 1 841 punktów

Każdy z tych punktów obsługiwany jest przez jeden przekaźnik (tzw. jednostkowy). Zadaniem przekaźni-

50X1-HUM

6

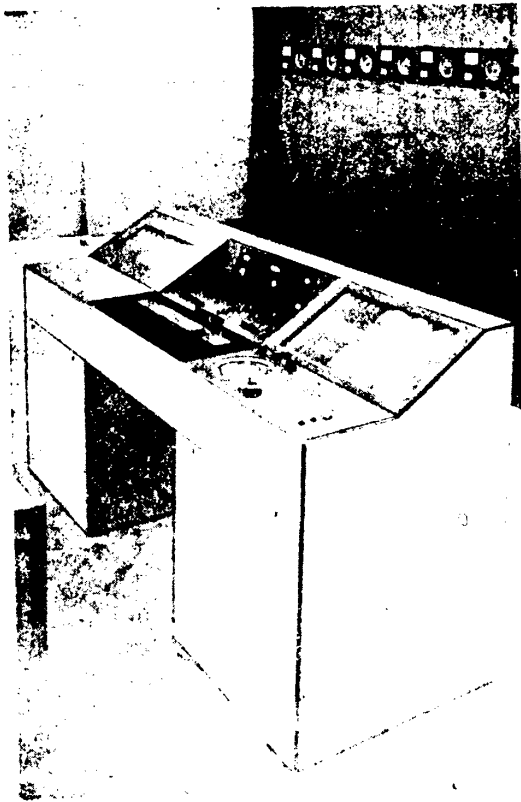
ków łączących punkty napięciowe jest tylko włączenie danego punktu sieci modelowej do układu pomiarowego, natomiast przełączniki obsługujące punkty pomiaru prądu muszą przerwać obwód i włączyć w to miejsce układ mierzący prąd.

Przełączniki zostały podzielone na trzy grupy: dwie prądowe i jedną napięciową, każda po 600 sztuk w układzie dziesiątkowym. Wszystkie te przełączniki są zamontowane na 23 ramach żelaznych, umieszczonych po tylnej stronie konstrukcji analizatora, za generatorami. Ramy te są widoczne na rys. 2 u góry, gdzie z dwóch ram zdjęte są osłony.

Stół pomiarowy

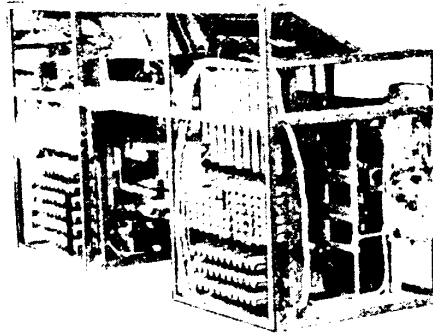
Stół pomiarowy (rys. 11 o wymiarach $1800 \times 1000 \times 600$ mm) jest mózgiem analizatora. W jego wnętrzu (rys. 12) znajdują się:

- a) układ pomiarowy, w skład którego wchodzi:
 1. trzy przyrządy wychyłowe elektrodynamiczne, mierzące napięcie, prąd i moc,
 2. wzmacniacze: prądowy i napięciowy,
 3. zasilacze do wzmacniaczy,
 4. stabilizatory elektromagnetyczne,
 5. układ do cechowania przyrządów pomiarowych,
 6. lampa oscylograficzna ze wzmacniaczem i przesuwnik fazowy do pomiaru przesunięcia fazowego prądu i napięcia,



rys. 11. Stół pomiarowy.

7. transformator pomiarowy napięciowy i dzielnik napięcia;
- b) układ wywoławczy i sygnalizacyjny wraz z prostownikami o napięciu 24 V zasilającymi obwody przełączników i transformatorem zasilającym lampki sygnalizacyjne.



Rys. 12. Widok otwartego stołu pomiarowego.

Przyrządy pomiarowe elektrodynamiczne są umieszczone w pozycji poziomej pod szklaną płytą na froncie stołu. Skale ich są dla wygody obsługującego oświetlone. Nieco powyżej znajduje się pulpit manipulacyjny, gdzie umieszczone są przyciski służące do obsługi analizatora. Nad i po obu stronach pulpitu, zamontowane są tablice z urządzeniami świetlnymi, na których ukazują się kontrolne napisy świetlne. W prawej, poziomej części pulpitu, umieszczona jest lampa oscylograficzna wraz z przesuwnikiem fazowym, służąca do pomiaru przesunięcia fazowego.

a) Układ pomiarowy

Układ pomiarowy analizatora pozwala na pomiary następujących wielkości:

1. prądu w każdej gałęzi wszystkich czwórników i w generatorach,
2. napięcia względem masy każdego węzła i każdego generatora,
3. napięcia między dowolnymi węzłami, generatorami lub generatorem i węzłem,
4. dowolnej mocy czynnej i biernej wynikającej z kombinacji wyżej podanych prądów i napięć,
5. przesunięcia fazowego dowolnego napięcia lub prądu, względem pewnego napięcia podstawowego, będącego w fazie z napięciami generatorów nastawionych na zero przesunięcia fazowego,
6. zawady pośrednio według wzoru:

$$Z = R + jX = \frac{\text{moc rzeczywista}}{I^2} + j \frac{\text{moc bierna}}{I^2}$$

Aby uzyskać możliwie wysoką dokładność pomiarów, zastosowano przyrządy wychyłowe elektrodynamiczne statyczne dla pomiarów prądu i napięcia klasy 0,5, dla pomiaru mocy — klasy 0,2. Wszystkie trzy przyrządy są tak skonstruowane, że dają pełne wyświeślenie przy prądzie 20 mA płynącym przez cewki ruchome i nieruchome przyrządów. Niepomocne

i woltomierz ma cewki ruchome i nieruchome połączone w szereg. Watomierz ma cewkę nieruchomą połączoną w szereg z amperomierzem, a cewkę ruchomą w szereg z woltomierzem. Oczywiście, że przyrządy te nie mogą być bezpośrednio włączone w układ pomiarowy, ze względu na znaczny pobór mocy, który cechuje tego rodzaju przyrządy, a który zupełnie zniekształciłby wyniki pomiaru - ze względu na bardzo małe moce w układach modelowych sieci.

Aby wpływ układu pomiarowego na wielkości mierzone sieci modelowej uczynić znikomym, zastosowano wzmacniacze. Jeden z nich obsługuje układ prądowy, a drugi napięciowy. Wzmacniacz prądowy jest trzystopniowy, z zastosowaniem specjalnego układu odprężającego. Dzięki temu, przesunięcie fazowe między napięciem wejściowym (z bocznika prądowego) a prądem wyjściowym wynosi zaledwie około $10'$, co jest dodatkowo skompensowane, a oprócz tego wzmocnienie jest prawie niezależne od napięcia sieci zasilającej i charakterystyk lamp wzmacniacza. Wzmacniacz daje pełne wychylenie przyrządu przy napięciu wejściowym 50 mV. Napięcie wejściowe otrzymuje się przez symetryzujący transformator pomiarowy o przekładni 1:5, którego pierwotne uzwojenie załączone jest na bocznik przełączany przekaźnikami zakresów. Ilość zakresów prądowych wynosi 9, a mianowicie: 1, 0.5, 0.2, 0.1 A i 50, 20, 10, 5, 2 mA dla pełnego wychylenia przyrządu, przy czym spadek napięcia na boczniku dla każdego zakresu wynosi przy pełnym obciążeniu 10 mV.

Drugi wzmacniacz podobnie skonstruowany obsługuje układ napięciowy. Pełne wychylenie przyrządu uzyskuje się przy napięciu wejściowym 0,5 V. Napięcie wejściowe doprowadza się przez symetryzujący transformator napięciowy o przekładni 10:1, tak że najmniejsze napięcie badane dające całkowite wychylenie wskazówki przyrządu wynosi 5 V. Za transformatorem (w obwodzie siatki sterującej lampy wejściowej) znajduje się przełączany dzielnik napięcia, dający 5 zakresów pomiarowych, a mianowicie: 100, 50, 20, 10 i 5 V przy pełnym wychyleniu wskazówki przyrządu.

Opór wejściowy wzmacniacza jest stały dla wszystkich zakresów i wynosi przeszło 2 Megaohmy.

Miedzy pierwszym a pozostałymi dwoma stopniami wzmacniacza znajduje się układ rezonansowy, zestrojony na 500 c/s, który dla pomiarów mocy biernej pozwala otrzymać przesunięcie fazy napięcia o $90'$.

Schemat blokowy układu pomiarowego podaje rys. 13.

Każdy ze wzmacniaczy posiada oddzielny zasilacz i stabilizator napięcia sieciowego.

Maksymalny błąd układu pomiarowego nie przekracza $\pm 1\%$.

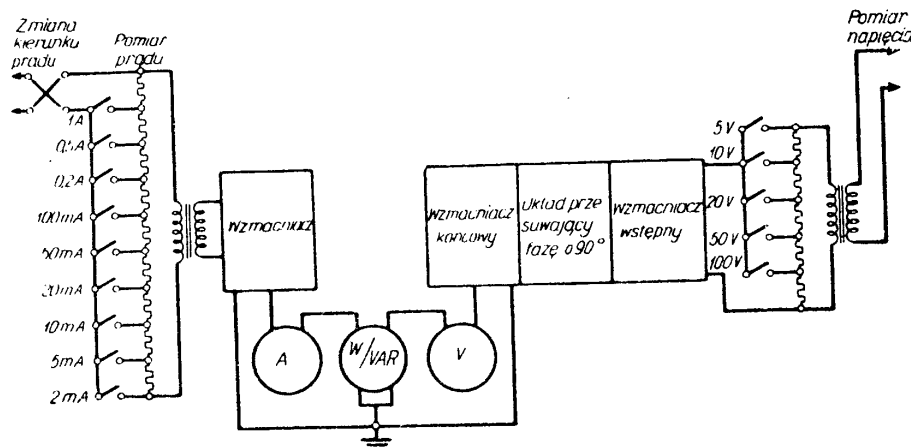
Aby mieć możliwość każdorazowej kontroli układu pomiarowego, zastosowano napięcie wzorcowe 500 c/s o stałej wartości, które przez odpowiedni dzielnik napięcia doprowadza się w momencie cechowania układu pomiarowego na wejścia obu wzmacniaczy. Do otrzymania tego napięcia zastosowany został specjalny układ mostkowy składający się z dwóch oporów niezależnych od płynącego przez nie prądu i dwóch oporów zależnych od prądu. Oporo te są tak dobrane, że przy napięciu wejściowym na układ mostkowy, zmieniającym się w granicach $\pm 20\%$, napięcie wyjściowe pozostaje stałe w granicach poniżej $\pm 0,5\%$.

Do pomiaru kąta fazowego zastosowana została lampa oscylograficzna ze wzmacniaczem jednostopniowym o regulowanym wzmocnieniu i przesuwnik fazowy ze skalą od 0 do $360'$. Dokładność pomiaru kąta fazowego leży w granicach $\pm 20'$.

Jak wykazało roczne doświadczenie, sumaryczny błąd przy pomiarach na analizatorze nie przekracza $\pm 2\%$, a więc nie jest większy od błędów innych analizatorów zagranicznych.

Układ wywoławczy i sygnalizacyjny

Cała manipulacja łączenia układu pomiarowego obsługiwana jest przez przyciski znajdujące się na pulpicie stołu pomiarowego. Wywołanie żadanego punktu pomiarowego odbywa się w następujący sposób: po uruchomieniu całości naciska się jeden z trzech przycisków, oznaczonych „PRĄD A”, który obsługuje grupę 598 punktów pomiarowych prądowych lewych gałęzi czwórników, „PRĄD B — GENERATORY”, który obsługuje 598 punktów pomiarowych prądowych



Rys. 13. Blokowy układ połączeń systemu pomiarowego.

ENTIAL

50X1-HUM

8

prawych gałęzi czwórników i 23 punkty prądowe generatorów lub przycisk „NAPIĘCIE”, obsługujący 599 punktów pomiarowych napięcia (węzły i masa) i 23 punkty pomiarowe napięcia generatorów. Następnie wywołuje się jeden z żądanych punktów w grupie, naciskając odpowiednio 3 przyciski z grupy dziesięciu przycisków wywoławczych oznaczonych cyframi od 0 do 9. Jeśli najpierw wywoływany był prąd, można teraz nacisnąć przycisk „napięcie” przerzucić układ wywoławczy na grupę punktów pomiarowych napięcia, bez skasowania poprzedniego wywołania jednego z punktów pomiarowych prądowych. Do pomiaru napięcia potrzebne jest połączenie układu pomiarowego z dwoma punktami zamocłowanej sieci, z których jeden może być „masa”. Otrzymuje się to przez kolejne naciśnięcie 6 przycisków wywoławczych, z których 3 pierwsze wywołują punkt pierwszy, a 3 następne punkt drugi, między którymi napięcie ma być mierzone.

Wszystkie manipulacje są kontrolowane napisami świetlnymi na tablicach znajdujących się po obu stronach pulpitu. Przy manipulacjach zapalają się napisy sygnalizujące połączenie układu wywołującego z odpowiednią grupą punktów pomiarowych, następnie cyfry świetlne kontrolujące, czy został naciśnięty właściwy przycisk i lampka kontrolna, wskazująca na zadziałanie ostatniego przekaźnika obsługującego bezpośrednio odpowiedni punkt pomiarowy. Oprócz tego ukazują się napisy świetlne podające, czy badana jest linia czy też generator i strzałki wskazujące kierunkowość napięcia i prądu. Cały system wywoławczy oparty również na przekaźnikach jest tak opracowany, że nie istnieje możliwość załączenia np. dwóch punktów prądowych naraz itp. Chcąc wywołać inny punkt pomiarowy w żądanej grupie pomiarowej, wystarczy nacisnąć odpowiedni przycisk grupowy, co powoduje natychmiast skasowanie istniejącego połączenia i przygotowanie układu wywoławczego do możliwości wywołania innego punktu.

Po wywołaniu punktów pomiarowych, należy włączyć przyrządy pomiarowe na odpowiedni zakres. Odbywa się to przez kolejne naciskanie przycisków zmieniających zakresy amperomierza w ilości 9 i zakresy woltomierza w ilości 5. Zmiana zakresów sygnalizowana jest świetlnie na tablicy umieszczonej nad pulpitem pomiarowym. Ukazujące się napisy świetlne podają za każdym razem ilość miliamperów, woltów i watów lub warów na jedną działkę przyrządu. Jest to dużym ułatwieniem dla obsługi, która po kilkugodzinnym

miarze, może łatwo wskutek zmęczenia popełnić omyłkę przy ustalaniu skali przyrządów. Aby zabezpieczyć przyrządy przed możliwością uszkodzenia wskutek przeciążenia w momencie włączenia nowego punktu pomiarowego, następuje przy kasowaniu równoczesne automatyczne włączenie przyrządów na najmniejszą czułą zakres.

Oprócz tych elementów na pulpicie pomiarowym znajdują się jeszcze dodatkowe przyciski służące do zmiany kierunku prądu, przestawienia pomiarów woltomierza z mocy czynnej na bierną i przyciski łączące układ do pomiaru kąta fazowego w obwód prądowy lub napięciowy punktu badanego. Należy jeszcze wspomnieć o przycisku oznaczonym „CECHOWANIE”, którego użycie pozwala na każdorazowe sprawdzenie cechowania układu pomiarowego. Naciskając ten przycisk wprowadza się na wejście układu pomiarowego napięcie wzorcowe, przy którym wszystkie trzy przyrządy powinny wychylić się do końca skali. Różnice wskazań można usunąć przez regulację wzmożenia odpowiednich wzmacniaczy przy pomocy oporów zmiennych umieszczonych pod płytą pulpitu, dostępnych do manipulacji śrubokrętem.

Jak z powyższego opisu widać, przy projektowaniu analizatora został położony specjalny nacisk na jak najdalej idące zautomatyzowanie i pewność pomiarów. Ma to na celu umożliwienie obsługującemu skupienie całkowitej uwagi na wykonywanym na analizatorze zadaniu i odczytach przyrządów.

Układ zasilający

W obecnej chwili analizator zasilany jest z generatora trójfazowego o mocy około 500 VA i 500 c/s: napięcie 3×140 V doprowadzone jest do filtra trójfazowego tłumiącego wyższe harmoniczne generatora do około 0,8 %. Następnie napięcie zostaje zmniejszone transformatorami do 40 V i doprowadzone do szyn zbiorczych zasilających generatory modelowe analizatora. Regulacja napięcia kontrolowana jest woltomierzem umieszczonym przy stole pomiarowym.

Zasilanie to należy traktować jako chwilowe, gdyż obecnie jest na ukończeniu wykonywany w PPAE specjalny generator trójfazowy 500 c/s o mocy około 10 kVA, napędzany motorem prądu stałego z lampową stabilizacją napięcia i obrotów w granicach $\pm 0,1$ %.

CONFIDENTIAL