

ANDRZEJ KAMIŃSKI, MACIEJ KULA, KAZIMIERZ OZIEMBLEWSKI

Katedra Elektroenergetyki

NIEZAWODNOŚĆ ZASILANIA WIELKICH ODBIORCÓW Z SYSTEMU ENERGETYCZNEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiono metodę obliczania niezawodności działania układów sieciowych, przystosowaną do określania oczekiwanych kosztów nieciągłości dostawy energii i opartą na wyznaczeniu dla poszczególnych węzłów odbiorczych sieci oczekiwanej liczby przerw na rok oraz oczekiwanych wartości współczynników niezdatności.

W obliczeniach, oprócz rozpatrzenia stanów nakładania się niezależnych zakłóceń elementów, uwzględniono dodatkowo: wpływ zmienności pogody na niezawodność układów równoległych, współzależność zakłóceń, przypadki zawodnego działania wyłączników, zwarć na szynach zbiorczych oraz nakładania się zakłóceń na stany remontów współpracujących elementów. W referacie przedstawiono również opracowany program omawianych obliczeń na maszynie cyfrowej i omówiono zakres jego zastosowania.

1. Zadania - wybrane kryterium

W planowaniu współczesnych układów elektroenergetycznych coraz większą wagę zyskuje problematyka pewności ich pracy. Zagadnienie określenia właściwego poziomu mocy wytwórczej w systemie można - z punktu widzenia teorii - uznać za dostatecznie rozwiązane. Główną uwagę skupiają teraz sprawy pewności pracy sieci systemowej, zasilania dużych węzłów odbiorczych oraz niezawodności sieci rozdzielczych [1]. Problematyka ta jest złożona, a dużym utrudnieniem obliczeń stanowi szczupłość danych wyjściowych. Wykonanie praktycznych obliczeń wymaga więc całego szeregu uproszczeń, celowo dobranych do specyfiki rozpatrywanych sieci i do posiadanych danych statystycznych. Przedstawiona tu metoda jest dostosowana do określenia niezawodności zasilania

lania węzłów odbiorczych przy planowaniu krajowej sieci wysokiego napięcia (od 110 kV w górę) i przy projektowaniu zasilania z niej wielkich odbiorców przemysłowych.

Wg rozpowszechnionej [2] ogólnej definicji "niezawodność jest to prawdopodobieństwo, że rozpatrywane urządzenie spełni właściwie swoje zadanie w danych warunkach i w określonym czasie". Definicja ta jest elastyczna; w konkretnych przypadkach praktycznych umożliwia ona dobranie różnych ilościowych miar niezawodności - stosownie

- do zadań spełnianych przez badany układ,
- i do celu wykonywanej analizy.

Uważając za podstawowe zadanie rozpatrywanych przez nas sieci dostarczanie odbiorcom energii elektrycznej, w odpowiedniej ilości i o właściwej jakości, przy możliwie najniższych kosztach, - a zajmując się badaniem ekonomicznej efektywności planowanych inwestycji sieciowych, dochodzi się do następującego k r y t e r i u m: należy zminimalizować oczekiwany koszt roczny K , obejmujący, poza kosztem stałym przesyłania K_g i kosztem strat energii S , również występujące u odbiorców straty spowodowane nieciągłością zasilania [3],[4].

$$K = K_g + S + C \quad (1)$$

gdzie:

C - wartość oczekiwana rocznych strat gospodarczych spowodowanych zawodnością układu sieciowego; składnik ten może służyć jako gospodarczy miernik niezawodności układu.

Liczbowa wartość C zależy od:

- a) jednostkowych kosztów strat - zależnych z kolei od rodzaju odbiorców, stopnia ograniczenia dostawy energii i jego trwania oraz od momentu wystąpienia zakłócenia,
- b) wskaźników zawodności badanego układu - zależnych od jakości tworzących go elementów i od funkcjonalnej struktury układu.

2. Jednostkowe koszty nieciągłości zasilania a zastosowane miary niezawodności

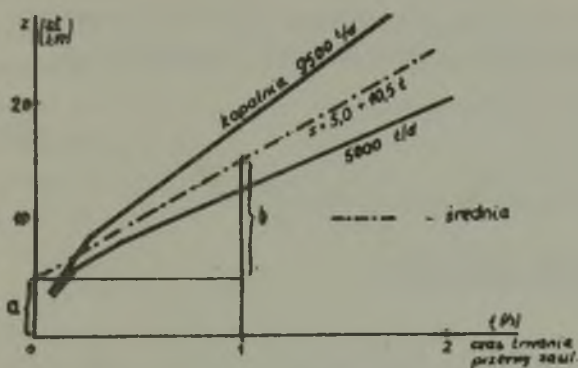
2.1. Coraz powszechniej prowadzone badania nad skutkami ekonomicznymi przerw zasilania różnych grup odbiorców przemysłowych [5] wykazują, że w przeważającej liczbie przypadków zależność jednostkowych kosztów nieciągłości zasilania c (zł/kW) od czasu trwania przerwy t daje się w szerokich przedziałach czasowych aproksymować przebiegiem liniowym typu

$$c = a + bt \quad (2)$$

gdzie:

a i b są parametrami stałymi.

Przykładowo, dla przebadanej przez Zyka [4] dużej grupy polskich kopalń węgla kamiennego (niegazowych) otrzymano dla całkowitych przerw zasilania o czasie trwania $0,1 \dots 2$ h:



Rys. 1

okowitych przerw zasilania o czasie trwania $0,1 \dots 2$ h:

kopalnie całkowicie zelektryfikowane (por. rysunek 1): $a = 5$ zł/kW, $b = 10$ zł/kWh; kopalnie częściowo zelektryfikowane: $a = 15$ zł/kW, $b = 12,5$ zł/kWh.

Dla zgrupowań odbiorców zasilanych ze stacji sieci państwowej

aproksymacja wg wzoru (2) wydaje się jedynym realnym założeniem; prace [4], [6], [7] opisują pierwsze próby określania wartości a i b . Dla przypadków częściowego ograniczenia dostawy energii odnośne wartości a' i b' są niższe, $a' < a$, $b' < b$,

2.2. Do obliczenia wg wz. (1) i (2) oczekiwanej wartości rocznych strat gospodarczych C i przy założeniu, że $a \ll a$ i

$b \ll b$, wystarczy wyznaczyć dla danego węzła odbiorczego dwa następujące wskaźniki niezawodności:

D - oczekiwana liczba przerw zasilania w roku,

Q - współczynnik niezdatności układu zasilającego dany węzeł, określający prawdopodobieństwo pozostawania tego węzła w stanie beznapięciowym w dowolnie wybranym, lecz dostatecznie odległym w czasie momencie.

Jeżeli czas pozostawania w rezerwie jest mały, to zachodzi następująca przybliżona relacja:

$$Q = \frac{D \cdot \tau}{T} \quad (4)$$

gdzie:

T jest liczbą godzin w roku, a τ wartością oczekiwaną przerwy zasilania, w godzinach.

Znając wartości a , b , D i Q , obliczamy wartość oczekiwaną rocznych strat gospodarczych spowodowanych zawodnością:

$$C = (a D + b Q T) P_{\text{śr}} \quad (5)$$

gdzie:

$P_{\text{śr}}$ - moc średnia pobierana w ciągu roku

3. Model powstawania przerw zasilania

3.1. Założenia

Bardzo złożony charakter procesów powstawania i usuwania zakłóceń w rzeczywistych układach sieciowych zmusza do oparcia obliczeń na modelu uproszczonym. Przyjęty model powinien uwzględniać jedynie najistotniejsze z zachodzących w rzeczywistości zjawisk, upraszczać natomiast, lub wręcz pomijać zjawiska i czynniki drugorzędne. Na podstawie własnych badań, a także w oparciu o analizy innych autorów, np. [11], za najistotniejsze uznano rewizję dwóch podstawowych założeń elementarnej teorii niezawodności układów złożonych: wzajemnej niezależności zakłóceń, oraz stałej w czasie intensywności ich pojawiania się. Wskaźniki niezawodności, obliczane przy tych założeniach, są bowiem

znacznie korzystniejsze niż te, które w rzeczywistości stwierdza się w praktyce eksploatacji złożonych układów sieciowych.

Uwzględniono zatem następujące, istotnie wpływające na niezawodność układów równoległych czynniki:

- zmienność intensywności zakłóceń elementów powodowaną warunkami meteorologicznymi [10],
- częściową współzależność zakłóceń, uwarunkowaną przyczynami konstrukcyjnymi (zwykle jest to przestrzenna bliskość elementów) oraz niewybiórczym działaniem zabezpieczeń; por.p. 3.3.

W sposób uproszczony uwzględniono natomiast:

- współzależność zakłóceń będącą wynikiem wyłączeń z przeciążenia w stanach pozakłóceniowych. Uproszczenie polegało na przybliżonym badaniu stanu przeciążenia (por. niżej p. 4.3) i na pominięciu zjawiska odciążania się elementów, czy to w wyniku naturalnej zmienności obciążenia, czy to na skutek działania automatyki odciążającej,
- założenie jednostajnego harmonogramu remontów planowych, tzn. niewykorzystywanie przy ich planowaniu sezonowych zmian, zarówno obciążenia, jak i intensywności zakłóceń,
- zastosowanie średnich jednostkowych wskaźników niezawodności elementów układu, wyrażonych w liczbie zakłóceń na 100 km linii i rok, na 100 pól i rok, itd., - w założeniu liniowej zależności tych wskaźników od parametrów ilościowych;
- łączne traktowanie zakłóceń krótko- i długotrwałych, z pominięciem zakłóceń przemijających.

Traktując założone układy sieciowe jako kombinacje prostych struktur szeregowych i równoległych, łączących się w węzłach, zestawiono niżej schematy obliczeniowe dla tych struktur.

3.2. Układ szeregowy

$$d_s \approx \sum_{i=1}^n d_i, \quad q_s \approx \sum_{i=1}^n q_i \approx \sum_{i=1}^n \frac{d_i r_i}{T}; \quad (6a, b)$$

d_g i q_g są liczbą zakłóceń i współczynnikiem niezdatności szeregowego zgrupowania "1" elementów, scharakteryzowanych wskaźnikami indywidualnymi d_i i q_i ; τ_i jest oczekiwanym czasem usuwania zakłócenia. Zależności (6) są tylko przybliżone i prowadzą do pewnego zawyżenia wyników. Gdy jednak $\sum q_i \ll 1$, błąd obliczeniowy jest pomijalnie mały.

Nie zajmujemy się tu przerwą zgrupowania szeregowego w wyniku remontów planowych.

3.3. Układ równoległy - na przykładzie dwu elementów

$$d_{2R} \cong z d_1 d_2 \frac{\tau_1 + \tau_2}{T} \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) + \left(d_1 \frac{v_2}{T} + d_2 \frac{v_1}{T}\right) + \\ + (d_1 + d_2) \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) (k_k + k_z) + \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) (d_1 k_{p2} + d_2 k_{p1}) \quad (7a)$$

$$q_{2R} \cong z d_1 d_2 \frac{\tau_1 \tau_2}{T^2} \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) + \frac{1}{T^2} (d_1 \tau_{1R} v_2 + d_2 \tau_{2R} v_1) + \\ + \frac{1}{T} \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) (d_1 f_2 + d_2 f_1) (k_k + k_z) + \frac{1}{T} \left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right) (d_1 f_2 k_{p2} + \\ + d_2 f_1 k_{p1}) \quad (7b)$$

Pierwszy składnik wzoru (7a) podaje liczbę przerw spowodowanych nałożeniem się wzajemnie niezależnych awaryjnych wyłączeń pojedynczych elementów. Czynnikiem $\left(1 - \frac{v_1 + v_2}{T}\right)$ przedstawia frakcję czasu rocznego, w którym nie są wykonywane planowe remonty elementów układu (trwające v_1 i v_2 godzin w roku). Współczynnik "z" uwzględnia wpływ zmiennej w ciągu roku, z warunkowanej pogodą, intensywności zakłóceń elementów. Współczynnik ten podaje, ile razy prawdopodobieństwo jednoczesnego wyłączenia n elementów równoległych (tu $n = 2$) w zmiennych warunkach pogodowych jest większe od wartości wyliczonej dla zało-

żenia niezmiennej w ciągu roku, średniej intensywności zakłóceń elementów; szczegóły - por. praca [10].

Składnik drugi uwzględnia przypadki nakładania się zakłóceń awaryjnych na stany remontów planowych elementów.

Dwa ostatnie składniki uwzględniają współzależność i nieprzypadkowe rozprzestrzenianie się zakłóceń, rozróżniając trzy ich rodzaje:

- a) z przyczyn konstrukcyjnych, tzn. zachodzące w wyniku przestrzennej bliskości elementów, zastosowania wspólnych konstrukcji wsporczych itd.;
- b) uwarunkowane niewybiorczym działaniem zabezpieczeń;
- c) wynikające z przeciążenia po awaryjnym wyłączeniu drogi równoległej.

Każdą z tych przyczyn można uchwycić ilościowo przy pomocy odpowiedniego współczynnika, k_k , k_z i k_p , będącego miarą prawdopodobieństwa rozprzestrzenienia się zakłócenia pierwotnego na inne elementy. Wartości tych współczynników mogą być wyznaczone statystycznie lub ustalone na drodze analitycznej.

Przeprowadzone analizy rzeczywistych układów sieciowych wykazały wyraźną współzależność z przyczyn konstrukcyjnych (k_k) dla torów linii dwutorowych, dla kabli ułożonych we wspólnym rowie i dla systemów szyn w rozdzielniach wielosystemowych; dla pozostałych przypadków przyjęto $k_k = 0$.

Współzależność z winy niewybiorczego działania zabezpieczeń (k_z) zależy od rodzaju i jakości układów zabezpieczających oraz od wyposażenia układu w urządzenia automatyki SPZ i stopnia skuteczności ich działania. Ten rodzaj współzależności udało się wycenić jedynie dla par elementów łączących się w jednym węźle sieciowym; jednoczesne wyłączenia z tego powodu trzech i więcej elementów oraz elementów nie sąsiadujących okazały się o co najmniej jeden rząd wielkości mniej prawdopodobne.

Największe trudności napotkali autorzy przy określaniu wyłączeń spowodowanych awaryjnymi przeciążeniami - ze względu na potrzebę wielokrotnego sprawdzania rozpliwów mocy w różnych stanach zakłóceńowych wyłączeń. Zdecydowano się na wprowadzenie współczynnika k_p ; powinien on uwzględnić wpływ tak różnorod-

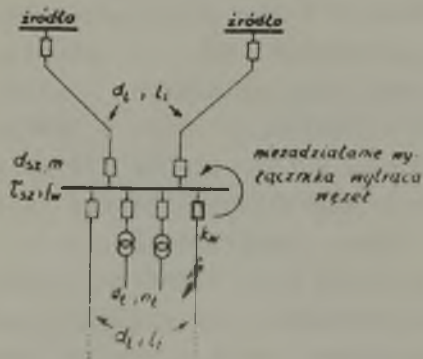
nych czynników, jak: naturalna przeciążalność elementów, charakterystyki zabezpieczeń, organizacja służby dyspozytorskiej, zakres wyposażenia w automatykę odciążającą, zmienność dobowego obciążenia i rozkład czasów trwania zakłóceń. Zależnie od stopnia rozeznania tych zagadnień konieczne i możliwe są uproszczenia przy wyznaczaniu k_p ; por. niżej rys. 5.

Kolejne składniki wzoru (7b) odpowiadają składnikom wz. (7a).

W składniku drugim t_r oznacza średni czas przerwy w wyniku nałożenia się zakłócenia i remontu planowego; przy ustalaniu tej wartości należy uwzględnić stosowaną w eksploatacji praktykę przerywania prac remontowych w przypadku zaistnienia zakłócenia na współpracującym elemencie. W składniku trzecim i czwartym f_1 oznacza czas usuwania wtórnego wyłączenia elementu w przypadku zakłóceń współzależnych. Ponieważ często będzie to jedynie ponowne załączenie nieuszkodzonego, niepotrzebnie wyłączonego elementu, więc $f_1 \leq \tau_1$.

Zależności analogiczne do wyżej opisanych można sformułować również dla większej liczby elementów równoległych n . Wraz ze wzrostem n liczba wyrazów szybko rośnie, a wypadkowa wartość maleje bardzo szybko.

3.4. Węzły sieciowe; por. rys. 2

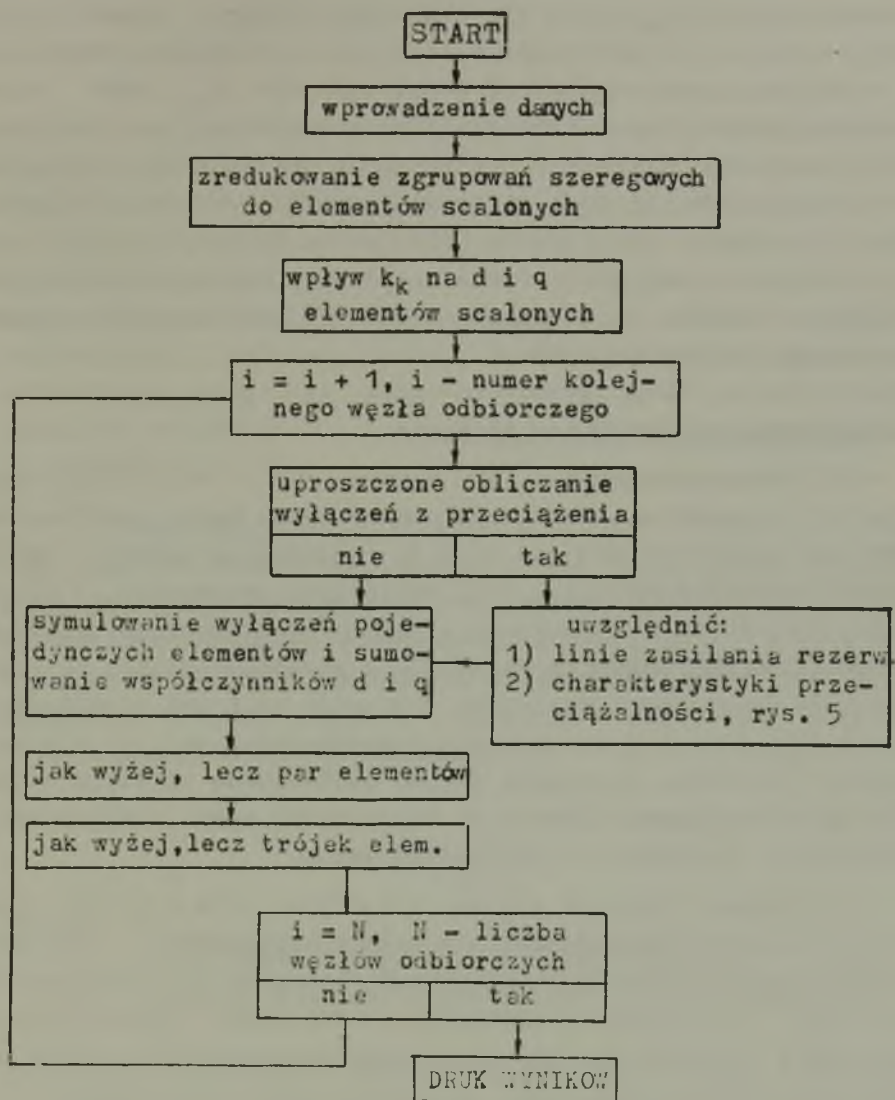


Rys. 2

$$d_w = \frac{d_{sz}}{100} m + \frac{k_w}{100} (d_1 \sum_{i=1}^n l_i + d_t n_t) \quad (8a)$$

$$q_w = \frac{d_{sz}}{100} m \tau_{sz} + \frac{k_w f_w}{100} (d_1 \sum_{i=1}^n l_i + d_t n_t) \quad (8b)$$

Zagadnienie polega tu na uwzględnieniu, obok zawodności samego układu szyn, konsekwencji



Rys. 3

zawodności wyłączników, w szczególności ich niezadziałania przy zwarciu.

We wzorach (8a,b) pierwszy wyraz przedstawia wyłączenia szyn, przy czym d_{sz} , m i τ_{sz} oznaczają kolejno, liczbę zakłóceń w roku na 100 pól rozdzielni, liczbę pól danej rozdzielni i oczekiwany czas naprawy. W drugim wyrazie k_w jest miarą prawdopodobieństwa niewyłączenia przy zwarciach na elementach bezpośrednio przyłączonych do badanego węzła. Roczna liczbę pierwotnych zakłóceń na tych elementach określa wyrażenie w nawiasie, przy czym: d_1 - liczba zakłóceń na 100 km linii i rok, l_1 - długość i-tej linii w km, n - liczba transformatorów i d_t - liczba zakłóceń na 100 sztuk i rok; f_w jest średnim czasem ponownego załączenia węzła.

4. Zakres i opis programu obliczeń

4.1. Przedstawiony na schemacie blokowym, rys. 3, program na maszynie cyfrową obejmuje tylko część metody opisanej wyżej w rozdz. od 1 do 3, mianowicie jedynie obliczenie zdefiniowanych w p. 2.2 wskaźników zawodności, D i Q , węzłów odbiorczych rozpatrywanego układu sieciowego. To zawężenie zakresu zostało dokonane świadomie, w przeświadczeniu, że pozostawione do ręcznego wykonania fragmenty obliczeń oczekiwanych strat gospodarczych spowodowanych zawodnością są po pierwsze proste i krótkie, po drugie jednak uzależnione od wielu czynników indywidualnych, głównie od organizacji sieci zasilającej u odbiorców, trudnych do zeschematyzowania.

4.2. Program rozpada się na kilka etapów: pomijając tu szczegóły wprowadzania danych wyjściowych, pierwszym krokiem jest zredukowanie zgrupowań elementów o strukturze szeregowej^{x)} do scalonych elementów równoważnych odgraniczonych od siebie wyłącznikami, a scharakteryzowanych przez wskaźniki d_s , q_s (i τ_s).

^{x)} n.b. - szeregową współpracą w sensie niezawodności jest pojęciem szerszym niż to wynika ze schematu połączeń.

Wyróżnia się następujące typy tych elementów (dla których odmiennie oblicza się zakłócenia współzależne):

- 1) gałęzie sieciowe, a) bez linii dwutorowych,
 b) z odcinkami linii dwutorowych;
- 2) węzły sieciowe a) jednosystemowe,
 b) wielosystemowe.

Wskaźniki zawodności wyłączników "dzieli się" między gałęzie i węzły; niezadziałanie przy zwarcu (od strony linii) "przyporządkowuje się" węzłowi przy pomocy współczynnika k_w .

Badając zasilanie danego odbioru program symuluje kolejno wyłączenie pojedynczych elementów, następnie par elementów we wszystkich możliwych kombinacjach, dalej trójek, a wyjątkowo też większej liczby elementów. Dla przypadków prowadzących do całkowitego przerwania połączenia danego węzła ze źródłami, wylicza się wskaźniki d i q i sumuje - otrzymując poszukiwane miary zawodności D i Q .

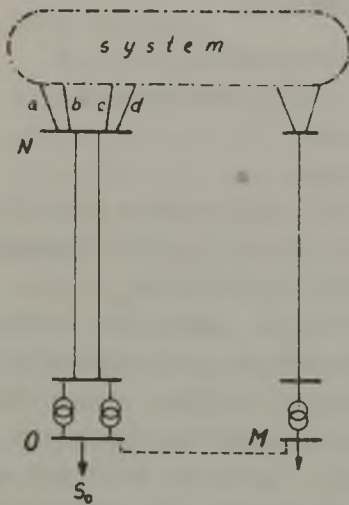
• 4.3. Współzależność wynikająca z p r z e c i ą ż e ń program ujmuje w sposób uproszczony - bez wyznaczania rozplywów mocy. Dla poszczególnych węzłów, których wyłączenie przerwałoby zasilanie badanego odbiorcy O , kontroluje się przy pojedynczych, podwójnych lub potrójnych wyłączeniach elementów zbiegających się w węźle (na rys. 4 elementy $a \dots d$ węzła N) stopień przeciążenia elementów pozostałych:

$$\alpha = \frac{S_o}{\sum S_n}, \tag{9}$$

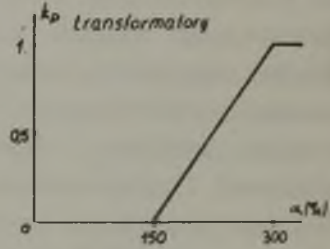
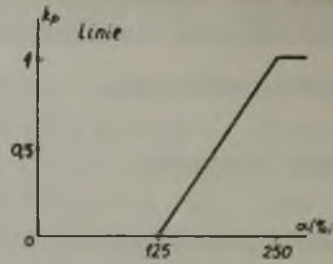
gdzie:

- S_o - szczytowe obciążenie badanego odbiorcy,
- $\sum S_n$ - suma przelotności pozostałych w ruchu elementów.

Następnie z założonej zależności, rys. 5, znajduje się odnośny współczynnik współzależności k_p , występujący we wz. (7).



Rys. 4



Rys. 5

4.4. Zagadnienie ograniczeń częściowych rozwiązano następująco: połączenia (i źródła) lokalne o ograniczonej przelotności, służące jedynie do wzajemnej rezerwy łączonych przez nie węzłów, przedstawia i traktuje się oddzielnie (linia przerywana O - M na rys. 4). Dla zasilania innych węzłów (poza O i M) są one bez znaczenia. Dla każdego węzła odbiorczego obliczenia wskaźników wykonuje się dwukrotnie: pierwszy raz - bez jakichkolwiek połączeń (i źródeł) rezerwowych, (D' i Q'); drugi raz - z uwzględnieniem jego połączeń rezerwowych, (D i Q). Jednostkowe koszty nieciągłości dostawy winny być znane zarówno dla przerw całkowitych, jak częściowych (indeks λ); por. p.2.1.

5. Praktyczne zastosowanie programu

Przedstawiony program jest przygotowany do analizowania układów sieci złożonych co najwyżej ze 100 elementów scalonych. Powiększenie tej liczby chwilowo nie wydaje się celowe - z następujących powodów:

- a) czas obliczeń na maszynie cyfrowej zależy nieliniowo od liczby elementów i rośnie bardzo szybko wraz z jej wzrostem;
- b) praktyczne obliczenia wykazały, że duże układy sieciowe można dzielić na mniejsze części i dla każdej z nich oddzielnie obliczać poszukiwane wskaźniki niezawodności.

W ten sposób m.in. zastosowano ten program do badań nad rozwojem krajowego systemu przesyłowego 400/220 kV o blisko 200 stacjach (400/220/110 kV, 400/110 kV i 220/110 kV). Znalaziono wskaźniki niezawodności dostawy energii dla szyn 110 kV i stąd oszacowano straty w wyniku przerw i ograniczeń zasilania; porównano kilka wariantów rozwoju systemu [6, 6a].

Dzielenie analiz niezawodności dużych systemów na studia częściowe jest również uzasadnione podziałem zadań pomiędzy poszczególne instytucje planujące i projektujące. Kolejno podporządkowane układy sieci różnych napięć projektowane są często równolegle przez inne zespoły ludzi i - na ogół - z różnym stopniem rozeznania szczegółów oraz z odpowiednio różnymi wymaganiami dokładności. Taki podział zadań pozwala na decentralizację analiz oraz zastosowanie małych maszyn cyfrowych. Wyniki obliczeń dla wyższych poziomów systemu stanowią część danych wejściowych dla poziomów niższych.

Za główną dziedzinę zastosowania programu w jego formie obecnej autorzy uważają studia nad rozbudową krajowej sieci 110 kV; do tego celu rozporządza się chwilowo względnie kompletnymi wyjściowymi danymi statystycznymi; por. przykłady w [5] i [7, App. II.1].

Obecnie pracuje się nad dostosowaniem programu do optymalizacji i typizacji układów zasilających wielkich odbiorców przemysłowych [9].

LITERATURA

- [1] Kamiński A.: Sprawozdanie z III Power System Computation Conference, Roma 1969; (znajduje się w Bibliotece Gł. Politechniki Śląskiej).
- [2] Bazovsky I.: Reliability Theory and Practice, Prentice-Hall, New York 1961.
- [3] Bojarski W.: Uwzględnienie niezawodności energetycznej sieci rozdzielczej zakładu przemysłowego przy optymalizacji konfiguracji tej sieci, Elektroprojekt, Biuletyn nr 11, Warszawa 1968.
- [4] Materiały Sympozjum Komitetu Energetyki PAN, Optymalizacja energetyki, Jabłonna - listopad 1966, WDN, Warszawa 1967 (w szczególności referat M. Kuli).
- [5] Materiały Sympozjum Komitetu Energetyki PAN, Niezawodność dostawy energii, Jabłonna - listopad 1968 (w druku).
- [6] Opracowanie współczynnika niezawodności pracy systemu oraz obliczenie tego współczynnika dla 10 wariantów rozwoju systemu - wykonane przez Katedrę Gospodarki Elektroenergetycznej Pol. Śl. na zlecenie Instytutu Energetyki, Gliwice 1968; wyniki tego opracowania przytoczone są w 6a :
- [6a] Instytut Energetyki (praca zbiorowa), Koncepcja rozwoju polskiego systemu elektroenergetycznego, rozdz. VII - Koncepcja rozwoju sieci przesyłowej, Warszawa, listopad 1968.
- [7] Kamiński A., Kula M. i Oziemblewski K.: Reliability Computations of Electricity Supply for Important Industrial Consumers and of Large Transmission Systems, III PSCC Roma 1969.
- [8] Kula M.: Niezawodność zasilania odbiorców z układu elektroenergetycznego, Energetyka, 1967, zeszyt 8.
- [9] Goc W. i Oziemblewski K.: Analiza niezawodności pracy typowych układów zasilania odbiorców przemysłowych, (przygotowane do druku w Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej).
- [10] Kula M.; Uwzględnienie wpływu zmienności pogody w obliczeniach niezawodności złożonych układów sieciowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 27.
- [11] Gaver D.P., Montmeat F.E. and Patton A.D.: Power System Reliability I - Measures of Reliability and Methods of Calculation, IEEE Trans. PAS, 1964, no 7.

НАДЕЖНОСТЬ СНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Р е з ю м е

В реферате представлен метод расчета надежности работы энергетических систем, приспособленный для определения ожидаемой стоимости непрерывности поставки энергии и основанной на указании для соответствующих сетевых узлов ожидаемого числа перерывов в течение года а также ожидаемых значения коэффициентов простоя. В расчетах, кроме рассмотрения процессов наложения независимых отказов различных элементов, дополнительно учтено: влияние изменчивости погоды на надежность работы параллельных систем, взаимозависимость повреждений, случай отката выключателей, короткое замыкание на шинах а также наложения отказов на ремонты других элементов.

Представлена также разработанная программа расчетов на вычислительной машине и оговорен предел её применения.

RELIABILITY COMPUTATIONS OF ELECTRICITY SUPPLY FOR LARGE CONSUMERS

S u m m a r y

A method for calculating transmission systems has been presented. It is adapted to determine finally the expected costs of supply outages. Thus the following two reliability indices for any chosen point of the analysed system are calculated: a) expected number of service interruptions per year; b) expected value of system down-time.

In addition to simultaneous independent outages of system components the following factors, important for complex systems, are taken into account: (i) influence of weather conditions on the reliability indices of parallel circuits, (ii) interdependence of outages, (iii) malfunction of circuit breakers, (iv) short circuits on busbars, (v) effect of maintenance outages.

A digital computer program and the field of his application have been described.