

Franciszek Szymik, Kurt Żmuda
Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów

NIEKTÓRE ZAGADNIENIA KSZTAŁTOWANIA ELEMENTÓW LINII NAPIĘTRZNEJ Z PUNKTU WIDZENIA ICH NIEZAWODNOŚCI

Streszczenie. W oparciu o opracowany model probabilistyczny, przy wykorzystaniu materiałów statystycznych dotyczących linii pracujących w warunkach rzeczywistych, możliwe jest określenie zależności stopnia pewności linii od danych wymiarowych jej elementów składowych. Przedstawiono sposób wykorzystania opracowanej metody do dwóch zagadnień: doboru długości poprzecznika i doboru obliczeniowego napięcia w stali szupa linii najwyższych napięć. Podano również próbę optymalizowania tych wielkości.

Wstęp

Na niezawodność pracy linii napowietrznej mają zasadniczy wpływ stopień wykorzystania wytrzymałości i wymiary jej elementów składowych. Optymalizacja tych wielkości w sposób ścisły, w oparciu o wieloparametrowy model zmienności stopnia niezawodności, jest sprawą dość uciążliwą. Wchodzące w rachubę czynniki pozostają z reguły we wzajemnej współzależności trudnej do praktycznego ujęcia i do wprowadzenia we właściwy sposób do modelu optymalizacyjnego.

Oddziaływaniu na linię zewnętrznych czynników obciążeniowych przeciwstawiają się cechy wytrzymałościowe i gabarytowe jej elementów składowych. Najważniejsze z nich to izolacja i szupy. Udział wytrzymałości przewodów w awaryjności globalnej jest w liniach najwyższych napięć znikomo mały - w statystykach awaryjnych prawie niezauważalny.

Zasadniczo inaczej przedstawia się sprawa wytrzymałości przewodów w odniesieniu do pewnych sieci średnich napięć, pracujących na terenach nawięzdzanych przez wyjątkowo duże ponadkatastrofalne obciążenia sadziowe. W sieciach tych awaryjność przewodów może mieć decydujące znaczenie przy optymalnym kształtowaniu parametrów linii.

Analiza optymalizacyjna właściwego kształtowania elementów linii winna w zasadzie być prowadzona w oparciu o model całościowy, obejmujący jednocześnie działanie wszystkich czynników funkcjonalnych [2]. W artykule przedstawiona zostanie próba indywidualnego potraktowania dwóch istotniejszych dla awaryjności elementów linii - izolacji powietrznej i szupa. Awa-

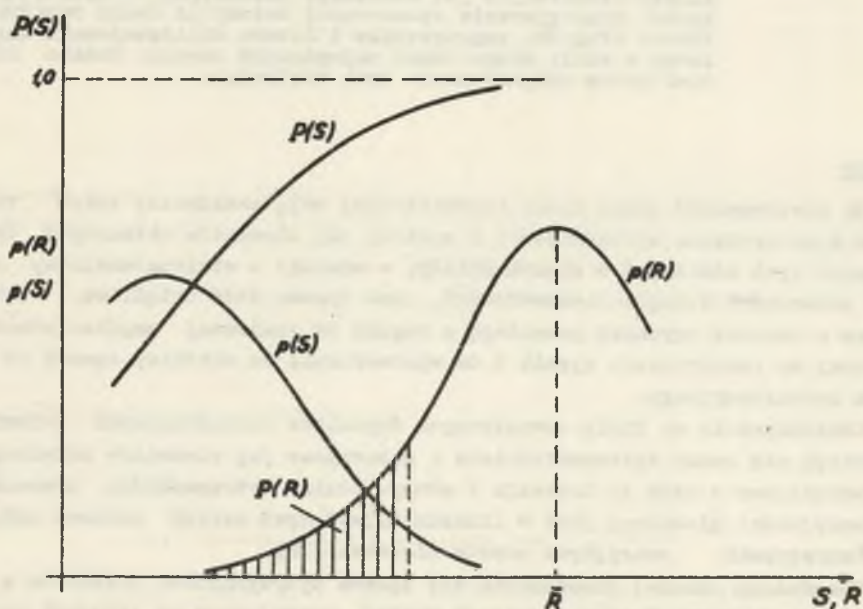
ryjność izolatorów, związana przede wszystkim z przepięciami burzowymi i zabrudzeniami atmosfery, stanowi odrębne zagadnienie, które nie jest poruszane w niniejszym opracowaniu.

Ogólny schemat postępowania

Prawdopodobieństwo awarii urządzenia, podlegającego działaniu zmieniających się losowo obciążeń, wyrażone może być za pomocą zależności

$$P(R \leq S) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(S) P(R) dS = 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} p(R) P(S) dR, \quad (1)$$

w której $p(S)$ i $p(R)$ są funkcjami gęstości rozkładu obciążenia (S) i wytrzymałości (R), zaś $P(R)$ i $P(S)$ funkcjami rozkładu tych wielkości (rys. 1). W zależności od okoliczności stosować będziemy w praktyce jedną lub drugą postać wzoru (1).



Rys. 1. Graficzna ilustracja do wzoru (1)

Korzystając na przykład z drugiej postaci wzoru (1) możemy - poprzez rozwinięcie w szereg Taylora funkcji $P(S)$ wokół punktu odpowiadającego średniemu poziomowi wytrzymałości \bar{R} - przedstawić zależność w bardziej praktyczny sposób

$$P(R \leq S) = 1 - P_S(\bar{R}) - \frac{\mu_2}{2!} p'_S(\bar{R}) - \frac{\mu_3}{3!} p''_S(\bar{R}) - \dots \quad (2)$$

Momenty centralne μ odnoszą się do rozkładu wytrzymałości, a więc określone są wzorem

$$\mu_i = \int_{-\infty}^{+\infty} (R - \bar{R})^i p(R) dR, \quad (3)$$

zaś pochodne gęstości prawdopodobieństwa $p''_S(\bar{R})$, $p'''_S(\bar{R})$..itd., jak i funkcja $P_S(\bar{R})$, dotyczą obciążenia S w punkcie \bar{R} .

W obliczeniach praktycznych stosowanie zależności (2) jest uciążliwe, a w pewnych przypadkach wręcz niemożliwe. Dotyczy to przede wszystkim uwzględniania dalszych członów rozwinięcia - poza dwoma pierwszymi. Na szczęście potrzeba uwzględniania tych członów jest z punktu widzenia dokładności najczęściej nie uzasadniona. W pewnych tylko przypadkach dostrzegalne znaczenie może mieć człon $\frac{\mu_2}{2!} p''_S(\bar{R})$. Uwzględnia on prawdopodobieństwo awarii w warunkach, kiedy $S < \bar{R}$. Jest ono najczęściej bardzo małe, o kilka rzędów mniejsze od wartości globalnego wskaźnika $P(R \leq S)$ i w związku z tym pomijalne. Otrzymuje się więc ostatecznie uproszczoną postać wzoru, nadającą się do stosowania w interesujących nas zagadnieniach praktycznych i to niezależnie od przyjętego rodzaju rozkładu teoretycznego wielkości R i S

$$P(R \leq S) \approx 1 - P_S(\bar{R}) \quad (4)$$

Przez odpowiednie wymiarowanie urządzenia można wartość prawdopodobieństwa awarii $P(R \leq S)$ wybrać tak, aby łączne koszty roczne K_R były najmniejsze

$$K_R = K'_R + K_{Ra} = \min. \quad (5)$$

Oznaczenia we wzorze:

- $K'_R = K_{ri} + K_{re}$ - koszty roczne w pojęciu tradycyjnym bez uwzględnienia remontów poawaryjnych,
 K_{ri} - koszty roczne inwestycyjne,
 K_{re} - koszty roczne eksploatacyjne,
 K_{Ra} - koszty roczne związane z awaryjnością linii.

W miarę zwiększania wytrzymałości R urządzenia, rosną koszty K'_R , natomiast koszty K_{Ra} maleją. Zasadniczą trudność w praktyce sprawia określenie wielkości kosztów K_{Ra} . Potrzebna do tego jest między innymi znajomość takich wielkości jak - powstających w wyniku awarii strat energii, kosztów jednostkowych tej energii oraz pewnych współczynników praktycznych, wiążących teoretycznie obliczone wskaźniki z rzeczywistymi wskaźnikami, wynikającymi z obserwacji pracy linii w warunkach rzeczywistych.

Określenie wskaźnika wyłączeń związanych z przeskokiem na odstepie powietrznym

W celu obliczenia według wzoru ogólnego (2) prawdopodobieństwa przeskoki między wychylonym przewodem a konstrukcją, należy określić parametry funkcji rozkładu obciążeń wiatrowych, powodujących wychylenia zawieszonoego na łańcuchach przewodu. Przeprowadzone w Instytucie szczegółowe badania wieloletnich statystyk maksymalnych prędkości wiatrów na terenie kraju, pozwoliły na przyjęcie najwłaściwszej funkcji rozkładu oraz jej parametrów. W zakresie notowanych prędkości od 19 do 35 m/s przyjęto przedziały o szerokości 2 m/s i dla uzyskanego w ten sposób rozkładu empirycznego przyjęto z wielu rozpatrywanych możliwości aproksymacji tego rozkładu, jako najbardziej odpowiedni, rozkład logarytmiczno - gumbelowski. Funkcja dystrybuanty tego rozkładu ma postać ogólną

$$P(k) = \exp(-e^{-k}), \quad (6)$$

gdzie $k = \frac{\ln x - c}{d}$, zaś x jest zmienną losową zredukowanego parcia wiatru $p_r = \alpha p$, odpowiednio do współczynnika nierównomierności parcia α .

Wartość tego współczynnika w liniach najwyższego napięcia zależna jest od prędkości wiatru v według wzoru empirycznego

$$\alpha = \frac{0,9}{v} + 0,1 \quad [4].$$

Z uzyskanych ze zbiorów statystycznych rozkładów empirycznych wyznaczono na drodze graficzno-analitycznej wartości stałych:

dla strefy klimatycznej I $c = 2,56$, $d = 0,15$

II $c = 2,69$, $d = 0,17$.

Dla napięcia przeskoku w powietrzu przy częstotliwości 50 Hz wprowadzamy zależność według wzoru BBC

$$U_p = 14 + 3,16a \quad [kV], \quad (7)$$

w której jako a należy rozumieć odległość w cm od wychylonego przewodu (ściślej - od skrajnego obrysu osprzętu) do konstrukcji wsporczej. Odległość tą uzależnimy w znany sposób od zmiennej prędkości wiatru v oraz stałej odległości poziomej b przewodu niewychylonego

$$a = b - f(v) = b - p_r B, \quad (8)$$

Współczynnik B związany jest z własnościami układu przewodu zawieszonoego na łańcuchu

$$B = 1,1 \frac{A_p + 0,5 A_1}{G_p + 0,5 G_1} \quad (9)$$

gdzie A_p, A_i oznaczają powierzchnie przewodu i izolatora, na które działa wiatr, G_p, G_i - odpowiednie ciężary, zaś l_1 długość całkowitą łańcucha izolatorowego.

Ze wzorów (7) i (8) znajdujemy średnią wartość zredukowanego parcia wiatru \bar{P}_r , odpowiadającego średniej wartości napięcia przeskoku \bar{U}_p

$$\bar{P}_r = \frac{14 + 3,16 b - \bar{U}_p}{3,16 B} \quad (10)$$

Rozkład wytrzymałości przeskokowej U_p przyjmujemy jako normalny, w związku z czym moment centralny drugiego rzędu μ_2 wyrazić możemy jako równy jego wariancji $\sigma_{U_p}^2$

$$\mu_2 = \sigma_{U_p}^2$$

względnie, przy przeliczeniu według (10) i (7) wariancji $\sigma_{U_p}^2$ na wariancję σ_a^2 rozkładu odstępów a , jako

$$\mu_2 = \frac{\sigma_a^2}{B^2}. \quad (11)$$

Wykonano szczegółowe obliczenia dla linii 110 kV ze słupami typu S_{12} i S_{24} oraz dla linii 220 kV ze słupami H_{52} . Zbadano, w jaki sposób zmienia się pewność pracy tych linii, w zależności od zmiany odstępów b , a tym samym od długości konstrukcyjnej poprzeczника słupa. Na rys. 2 podano wyniki tych obliczeń w postaci krzywych zależności prawdopodobieństwa P_1 ($R \leq S$) od odstępów b . Prawdopodobieństwo P_1 odnosi się do jednego odstępów powietrznego na słupie.

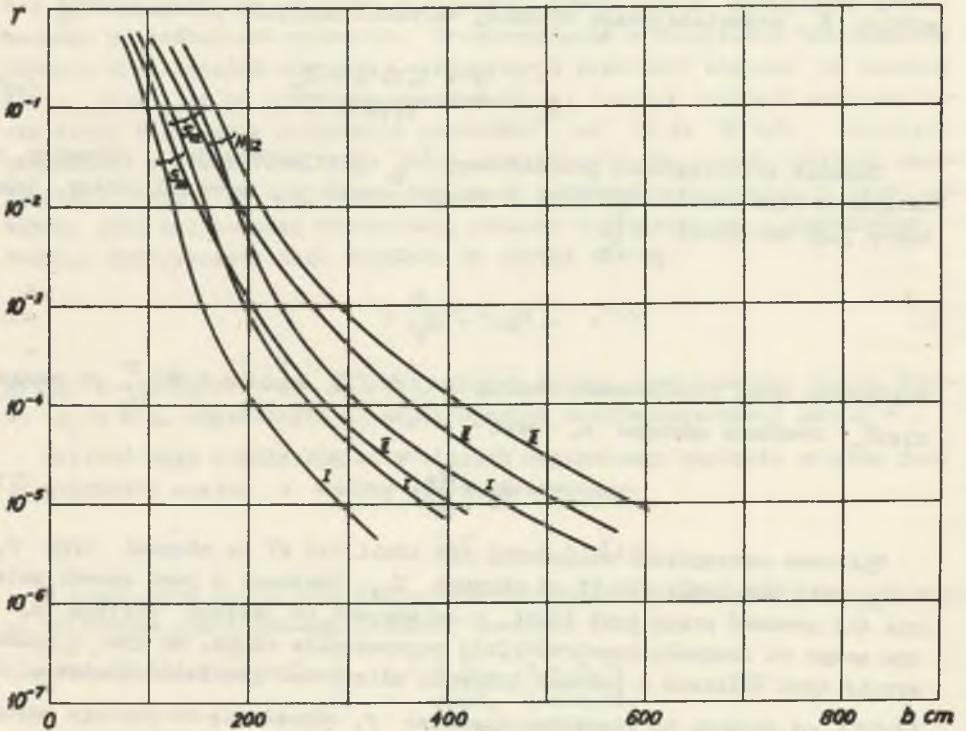
Dla n odstępów w całej linii mnożymy odczytane z wykresu wartości przez iloczyn nV , uzyskując wartości wynikowego prawdopodobieństwa przeskoku w linii

$$P_n (R \leq S) = nV P_1 (R \leq S). \quad (12)$$

Współczynnik $V \leq 1$ uwzględnia obniżenie prawdopodobieństwa przeskoku w szeregowym zgrupowaniu awaryjnym elementów w stosunku do przyjmowanego najczęściej w praktyce wyrażenia $n P_1$ [4]. To ostatnie wyrażenie odpowiada zwyczajowi uproszczonego określania awaryjności (zawodności) linii, jako wielkości wprost proporcjonalnej do jej długości.

Jeżeli liczba odstępów w linii wynosi, jak w naszym przypadku, $n = 2n_1$ (przyjmujemy 2 jednakowe odstępów na 1 słupie, n_1 jest liczbą słupów), jeżeli ponadto uwzględnimy współczynnik zmienności kierunku wiatrów k_w oraz współczynnik skuteczności działania SPZ k_{SPZ} , to oczekiwaną liczbę wyłączeń linii w ciągu roku wyrazić możemy wzorem

$$d_{IP} = k_w (1 - k_{SPZ}) n \Psi P_1 (R \leq S). \quad (13)$$



Rys. 2. Krzywe zależności $P_1 (R \leq S) = f(b)$ dla słupów S_{12} , S_{24} , H_{52} w strefach klimatycznych I i II

W jednym z okręgów energetycznych (ZEOD) łączna długość linii 110 kV na słupach typu S wynosi 240 km. Przy założeniu średniej rozpiętości przęsła 240 m, uzyskujemy dla całej sieci liczbę odstępów

$$n = 2 \frac{240 \cdot 10^3}{240} = 2000. \text{ Linie te, ze słupami } S_{12} \text{ i } S_{24},$$

posiadają odstęp $b = 210$ cm. Z wykresów na rys. 2 odczytujemy odpowiednio dla S_{12} wartość $P_1 = 6 \cdot 10^{-4}$, dla S_{24} wartość mniejszą (przewody grubsze mniej się wychylają) $P_1 = 9 \cdot 10^{-5}$. Bierzymy w rachubę wartość mniej więcej średnią $4 \cdot 10^{-4}$ - zdając sobie sprawę z błędów, jaki popełniamy, jednakże w naszych obliczeniach orientacyjnych jest to dopuszczalne. Współczynnik Ψ określamy z wykresów podanych w pracy [4] dla

przeciętnej linii o długości 20 km, tj. z liczbą odstępów $n = 167$, czyli dla $nP_1 = 167 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,067$. Wynosi on 0,97.

Przyjmujemy współczynniki $k_w = 0,5$ i $k_{SPZ} = 0,5$.

Wskaźniki wyłączeń wskutek przeskoków na 100 km linii i 1 rok wynosi więc według wzoru (13)

$$d_{IP}(110) = 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{2,4} \cdot 0,97 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,0805 \text{ wył/100 km, rok.}$$

W podobny sposób wykonano obliczenia dla linii 220 kV tegoż okręgu ZEOD na słupach typu H₅₂. Dla tych linii przyjęto: rozpiętość 400 m, $b = 350$ cm i z rys. 2 odpowiednią wartość $P_1 = 5 \cdot 10^{-5}$.

Wskaźnik wyłączeń wynosi

$$d_{IP}(220) = 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{2500}{5} \cdot 0,98 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0,00613 \text{ wył/100 km, rok}$$

Dla linii 220 kV na słupach typu M52 wskaźnik obliczony jest znacznie niższy - wynosi ok. 0,003.

Ze statystyk awaryjnych wynikają wskaźniki na ogół wyższe od obliczonych. Rząd odpowiednich wartości jest jednakże jednakowy. Różnice wytłumaczyć można zarówno przyjęciem pewnej umownej procedury w sposobie zbierania danych statystycznych, jak również pewnej swobody w przyjmowaniu w obliczeniach wartości określających model probabilistyczny i wartości współczynników empirycznych.

Optymizacja odstepu powietrznego na słupie

Stosując wzór (5) wykonano dla linii 110 kV ze słupami S₁₂ konkretne obliczenia zależności kosztów rocznych od zastosowanego odstepu b zawieszanego na poprzeczce łańcucha izolatorowego.

Przyjęto, że koszty inwestycyjne K_{r1} zależne są od odległości b , w sposób liniowy. W oparciu o konkretne projekty wprowadzono przybliżoną empiryczną regułę, na podstawie której wzrostowi odstepu b o 1 m odpowiada wzrost kosztów K_{r1} o 1%.

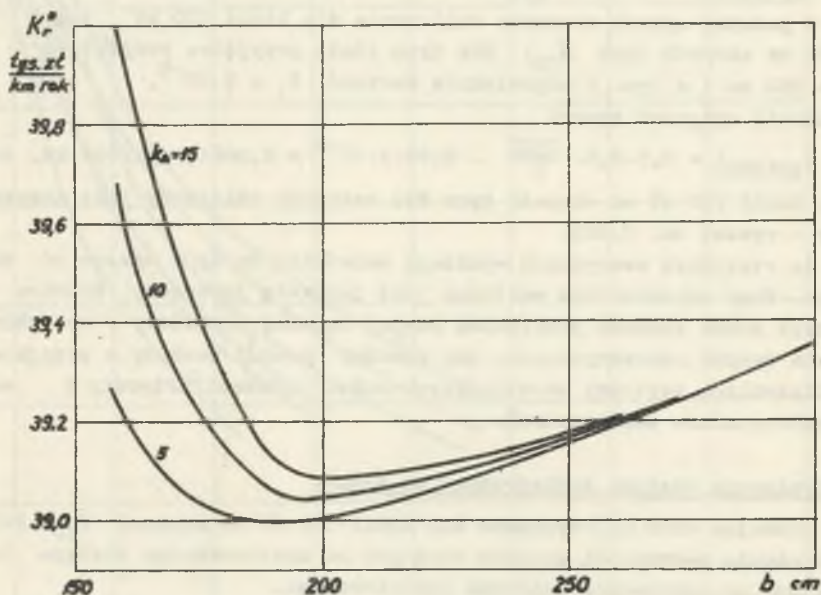
Ponieważ koszty eksploatacyjne K_{re} są praktycznie niezależne od b , kosztów tych w analizie nie uwzględniono. Operowano więc kosztami rocznymi $K_r^x = K_r - K_{re}$.

Z przeprowadzonej analizy statystyk awaryjnych linii 110 kV wynikły pewne przeciętne wartości wskaźników, a mianowicie

- średnia wielkość niedostarczonej energii wskutek awarii związanych z przeskokiem izolacji powietrznej $\Delta A_{IP} = 7,4$ MWh/wył.
- koszt inwestycyjny linii 110 kV na słupach typu S₁₂ - $K_i = 260$ tys zł/km

Wskaźnik stopy akumulacyjnej przyjęto $p = 0,15$.

Najbardziej dyskusyjną w obliczeniach kosztów awarii jest sprawa strat u odbiorców związanych z niedostarczoną wskutek awarii energią. Przyjęto odnośny równoważnik gospodarczy w trzech wariantach - $k_A = 5, 10$ i 15 zł/kWh. W zależności od charakteru odbiorów należy decydować się na jedną z podanych wartości i w odpowiedni sposób wyciągać wnioski z wariantowo przeprowadzonej analizy optywizacyjnej.

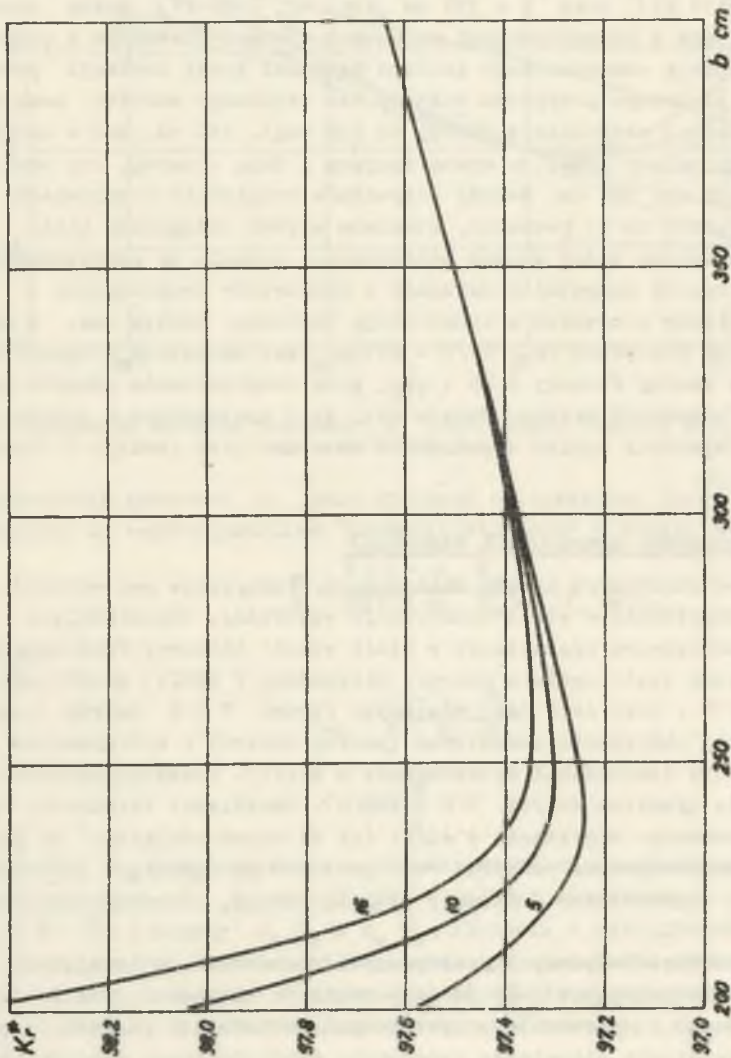


Rys. 3. Optywizacja odstępu powietrznego w linii 110 kV

Wyniki obliczeń dla linii 110 kV przedstawiono na rys. 3. Z wykresów widać, że ze wzrostem wartości b powyżej pewnej wartości optymalnej mamy do czynienia z przebiegiem prawie prostoliniowym, określonym przez wzrost kosztów inwestycyjnych; jako że wpływ kosztów awarii staje się coraz bardziej znikomy. Zmniejszanie odstępu b poniżej wartości optymalnej daje natomiast znaczny wzrost kosztów, związany z coraz bardziej znaczącym wzrostem kosztów awarii K_{ra} .

W podobny sposób przeprowadzono analizę dla linii 220 kV na słupach H_{52} . Wyniki przedstawiono na rys. 4. Należy jednak zauważyć, że z braku odpowiednich danych statystycznych dla linii 220 kV, analizę dla tych linii przeprowadzono w oparciu o szacunkowo przyjęte wartości wskaźników obliczeniowych.

Poza wielkościami podstawowymi ΔA_{IP} , K_{BR} , decydujące znaczenie na przebieg krzywych $K_r^x = f(b)$ ma wartość kosztów k_A niedostarczonej odbiorcom energii. Wzrost tego wskaźnika z 5 na 15 zł/kWh (a więc trzy-



Rys. 4. Optymalizacja odstępu powietrznego w linii 220 kV ze słupami H₅₂

krotny) powoduje przesunięcie punktu optymalnego z wartości $b = 188$ na 203 cm dla linii 110 kV oraz z 240 na 265 cm dla linii 220 kV.

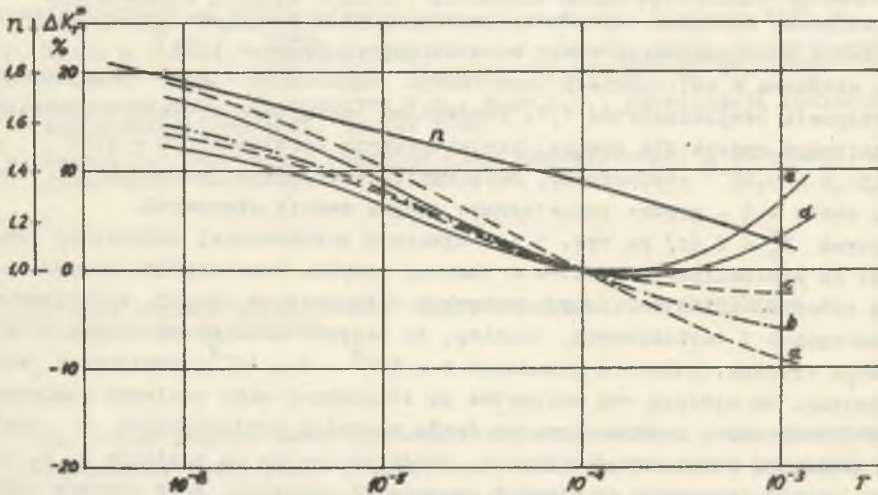
Nie przywiązując do uzyskanych szczegółowych wartości zbyt dużego znaczenia praktycznego, wyniki każdorazowo zależą od przyjętych warunków klimatycznych i warunków pracy linii, można obydwa typy linii scharakteryzować w następujący sposób. Odstęp $b = 210$ cm dla słupa S_{12} (110 kV) oraz $b = 350$ cm dla H_{52} (220 kV) można ocenić jako odpowiadające w rozpatrywanych warunkach wymogom stawianym z punktu widzenia zachowania uzasadnionego poziomu pewności pracy izolacji powietrznej linii. W pierwszym przypadku możnaby bez większego wzrostu kosztów rocznych zwiększyć ewentualnie odstęp do 230 wzgl. 240 cm, zaś w drugim (220 kV) odstęp należy uznać za wystarczający z dużą rezerwą, czy nawet zmniejszyć go do np. 300 cm. Należy oczywiście uwzględnić w odpowiedni sposób inne wymagania co do pewności, stawiane obydwu kategoriom linii.

Przedstawiony wyżej sposób postępowania pozwala na uwzględnienie w odpowiedni sposób wszystkich warunków i parametrów decydujących o wyborze odstępu między przewodem a konstrukcją wsporczą. Odstęp ten, w myśl obowiązujących przepisów PN - 67/E - 05100, jest określany w sposób deterministyczny według formuły $0,05 + \frac{U}{150}$, przy uwzględnieniu pewnych sztywnych wartości prędkości wiatru. Wydaje się, że - szczególnie w odniesieniu do linii najwyższych napięć - podejście to winno ulec rewizji i odpowiedniej modyfikacji.

Stopień pewności konstrukcji wsporczej

Problem stawiamy w sposób następujący. Interesuje nas wartość obliczeniowego naprężenia w stali konstrukcji wsporczej, odpowiadająca zadanemu prawdopodobieństwu wystąpienia w linii awarii słupowej. Prawdopodobieństwo to określone jest, ogólnie biorąc, wielkością $P(R \leq S)$ zdefiniowaną zależnością (1), przy czym jako wielkości losowe S i R należy rozumieć odpowiednio, obciążenie zewnętrzne (parcie wiatru) i wytrzymałość mechaniczną słupa (naprężenia wytrzymywane w stali). Prawdopodobieństwo nazwiemy umownie ryzykiem awarii $r = P(R \leq S)$. Określenie zależności ryzyka r od zastosowanego naprężenia w stali lub od odpowiadającego mu pewnego umownego współczynnika pewności n , jest - w porównaniu z poprzednio rozpatrzonym zagadnieniem - sprawą, ogólnie biorąc, znacznie bardziej złożoną.

Po wprowadzeniu pewnych praktycznych uproszczeń, polegających przede wszystkim na przyjęciu jako funkcji rozkładu wielkości S i R funkcji typu normalnego i operowaniu przybliżonymi wartościami parametrów, wyznaczonymi na podstawie niepełnego rozeznania statystycznego wchodzących w rachubę zjawisk i własności, opracowano wymienione zależności i poddano je odpowiedniej analizie [1]. Nie jest celowe przytaczanie w artykule związanych z analizą szczegółów, podaje się natomiast w sposób wykreślny same tylko wyniki końcowe (rys. 5).



Rys. 5. Zależność stopnia pewności n oraz zmiany kosztów ΔK_r^x od ryzyka awarii słupowej r

Współczynnik pewności n , jako wielkość obliczeniową (deterministyczną), łączymy ze współczynnikiem "probabilistycznym" μ prostą zależnością

$$n = \frac{W}{S} = \frac{\bar{W} (1 - m_w \frac{\sigma_w}{\bar{W}})}{S (1 + m_s \frac{\sigma_s}{S})} = \mu k_{ws}, \tag{14}$$

przy czym

$$k_{ws} = \frac{1 - m_w \frac{\sigma_w}{\bar{W}}}{1 + m_s \frac{\sigma_s}{S}} \tag{15}$$

$$\mu = \frac{W}{S}. \tag{16}$$

Współczynniki m_w i m_s wyrażają krotności odchyłeń standardowych σ_w i σ_s wielkości losowych W i S , odchylnych w żądanym rozmiarze od średnich wartości \bar{W} i \bar{S} . Iloczyny $m_w \sigma_w$ i $m_s \sigma_s$ stanowią o wytrzymałości obliczeniowej (mniejszej od średniej) i obliczeniowym obciążeniu wiatrowym (większym od średniego) w odpowiedni sposób do wyrażenia na współczynnik k_{ws} , wiążący współczynniki pewności - obliczeniowy n , z probabilistycznym μ .

Wykresy na rys. 4 odpowiadają przyjęciu dwusigmowego odchylenia dla W i S , tzn. $m_w = m_s = 2$ oraz odchyłeń standardowych $\sigma_w = 15\%$, $\sigma_s = 30\%$. Jak wynika z analizy statystycznej awaryjności słupów w kolejowych liniach najwyższych napięć 110 i 220 kV wskaźnik r można ocenić na ok. $r = 10^{-4}$.

Odpowiada mu współczynnik pewności $n = 1,32$ odczytany z wykresu przedstawionego na rys. 4. Wartość ta pokrywa się w przybliżeniu z wartością przyjmowanego obecnie przez Energoprojekt współczynnika bezpieczeństwa 1,33, jako stosunku wartości naprężenia granicy plastyczności do dopuszczalnego naprężenia obliczeniowego stali konstrukcyjnej ($\frac{2400}{1800} = 1,33$).

Do niedawna w obliczeniach konstrukcji w-sporczych był przyjmowany współczynnik bezpieczeństwa 1,2. Porównując odczytane z wykresu odpowiednie wartości ryzyka dla dawniej projektowanych konstrukcji $r = 4 \cdot 10^{-4}$ i obecnie $r = 9 \cdot 10^{-5}$ stwierdzamy, że w wyniku wzmocnienia konstrukcji uzyskano około 4,5 - krotne zmniejszenie ryzyka awarii słupowych.

Krzywe $K_I^x = f(r)$ na rys. 5 nie wykazują zdecydowanej jednolitej tendencji do minimalizacji kosztów w funkcji ryzyka. Poszczególne krzywe dotyczą różnych wariantów przyjmowanych w obliczeniach danych wyjściowych ekonomicznych i technicznych. Widzimy, że jedynie dwie górne krzywe (d,e) wykazują wyraźne optimum w granicach $r = 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$. Stwierdzić jednak należy, że dotyczą one wariantów ze stosunkowo mało realnymi założeniami technicznymi i ekonomicznymi (małe wartości współczynnika p oraz małe wskaźniki konstrukcyjne słupa). Bardziej realne są warianty a, b, c, które jednakże prowadzą do niezbyt sensownych wniosków, gdyż odnośne optimum występuje dla ryzyka rzędu 10^{-2} i 10^{-1} .

Wnioski ogólne, wynikające z przeprowadzonej analizy ryzyka awarii słupowych, dadzą się ująć w następujących punktach:

- istnieje możliwość badania opłacalności wzmocnienia konstrukcji słupa z punktu widzenia dopuszczonego ryzyka awarii;
- zmniejszenie ryzyka z wartości 10^{-4} na 10^{-5} a tym bardziej na 10^{-6} jest nieopłacalne, gdyż odpowiedni wzrost kosztów jest znaczny - wynosi ok. 10 i 15%.
- wartość $r = 10^{-4}$, stwierdzona orientacyjnie na podstawie statystyk w krajowych liniach 110 i 220 kV, odpowiada rozsądnym wymaganiom właściwego kształtowania stopnia pewności pracy linii napowietrznych; związana z tym wartość naprężenia obliczeniowego $\sigma_{obl} = 1800 \text{ kg/cm}^2$ przyjmowaną aktualnie w projektach konstrukcji w-sporczych, należy tym samym uznać za w zupełności uzasadnioną;
- dobór parametrów elementów winien być w miarę możliwości i potrzeby dostosowany do zróżnicowanych warunków pracy linii napowietrznej; opierając się o optymalizację z uwzględnieniem odpowiednio rozszerzonych kosztów rocznych, można uzyskać znaczne oszczędności gospodarcze, przy zachowaniu odpowiednio uzasadnionego stopnia pewności pracy linii.

LITERATURA

1. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej "Koordynacja stopnia pewności elementów składowych linii przesyłowych najwyższych napięć". Praca Zespołu Instytutu - Listopad 1971 r.
2. Żmuda K.: Model optymalizacyjny stopnia pewności linii napowietrznej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 37. 1973
3. Artiemiew D.E., Tichodiejew N.N., Szur S.S.: Koordynacja izolacji linii elektropięrzedacji. Moskwa 1967.
4. Szymik F.: Zagrożenie awaryjne sieci napowietrznej w warunkach zabrudzeń. Energetyka 1959. Nr 3,4.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Р е з ю м е

На основе разработанной пробабилистической модели, при использовании статистического материала относительно линий работающих в реальных условиях, имеется возможность определения зависимости надежности линии от конструктивных параметров составляющих элементов. Предложен метод использования разработанной модели в двух случаях: определение длины траверсы и определение расчетного напряжения в стали опоры линии сверхвысокого напряжения. Проведена попытка оптимизации этих величин.

CERTAIN PROBLEMS OF FORMING OF THE OVERHEAD LINE ELEMENTS FROM THEIR
RELIABILITY POINT OF VIEW

S u m m a r y

On the basis of the worked out probabilistic optimization model it is possible to define the dependence of the overhead line reliability on the dimensional data of the line constituents. The manner of utilization of the worked out method is presented for two problems: the crossarm length selection and selection of the permissible stress in steel of the EHV line tower. The attempt of optimization of above quantities is also given.