

Zbigniew KASPRZYK, Mirosław SIERGIEJCZYK
Politechnika Warszawska

ZASTOSOWANIE METODY ANALIZY NARAŻEŃ CZĘŚCI DO PROGNOZOWANIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH NA PRZYKŁADZIE PĘTLI PRZEJAZDOWEJ STOSOWANEJ W SYSTEMIE POBORU OPŁAT

Słowa kluczowe

Metody prognozowania niezawodności obiektów technicznych, niezawodność obiektów technicznych, system poboru opłat, metoda analizy narażeń części.

Streszczenie

W referacie zaprezentowano koncepcję wykorzystania metody analizy narażeń części (ang. *Part Stress Analysis*) do prognozowania niezawodności obiektów technicznych na przykładzie pętli przejazdowej stosowanej w systemie poboru opłat. Celem prognozy niezawodności powyższego obiektu i pozostałych elementów systemu poboru opłat, w dalszej części opracowania, będzie analiza i ocena systemu pozwalająca na opracowanie harmonogramu pracy systemu przy określonej gotowości i ustalonym wyposażeniu.

Wprowadzenie

Analizując obecny stan systemu poboru opłat na tle innych krajów Unii Europejskiej można zauważyć, iż istnieją odległe w czasie możliwości rozwoju tego systemu wymuszające eksploatację ręcznych systemów poboru opłat. Modernizacja tego systemu do standardu krajów UE będzie możliwa nie wcześniej niż po 1 stycznia 2011 roku (Druk nr 4119 znak RM 10-78-05 z dnia 1 czerwca

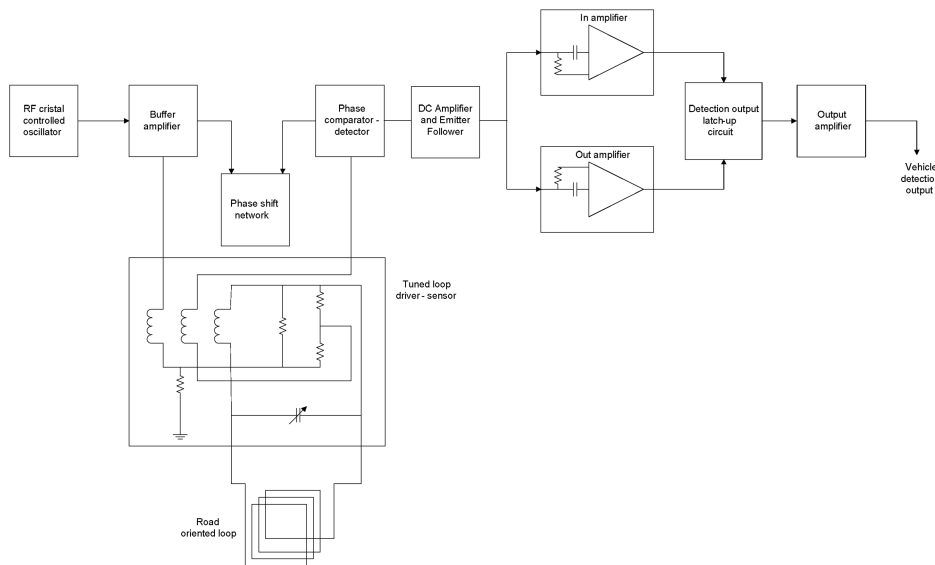
2005 r. – o zmianie ustawy o drogach publicznych i niektórych innych ustaw). Należy jednak zauważyć, że niezawodność tego systemu jest szczególnie ważna, gdyż zapewnia on wpływy z opłat za przejazdy po drogach krajowych. Przerwanie działalności systemu poboru opłat spowoduje utratę wpływów z opłat za przejazdy, które to z kolei umożliwiają utrzymanie infrastruktury drogowej zapewniającą ciągłość usługi transportowej. Z tego też względu istnieje przesłanka do opracowania optymalnej strategii eksploatacji systemu dla ustalonego wyposażenia i wymaganego poziomu gotowości systemu. Ze względu na fakt, iż nie napotkano publikacji bezpośrednio dotyczących wyznaczonych parametrów niezawodnościowych ręcznego systemu poboru opłat, to aby odpowiednio opracować strategię eksploatacji systemu, należy określić prognozowaną niezawodność dla zastosowanego systemu. Opracowanie strategii eksploatacji wymaga stworzenia modelu niezawodnościowego systemu, którego obserwacja umożliwi adaptację istniejących strategii w celu spełnienia wymagań eksploatacyjno-niezawodnościowych tego systemu, a w szczególności wymaganego poziomu gotowości, określonego w Podstawowych Wymaganiach Technicznych do Projektowania, Budowy, Eksploatacji i Zwrotu Autostrady opracowanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych.

W celu określenia prognozowanej niezawodności systemu można wykorzystać jedną z wielu metod prognozowania niezawodności obiektów technicznych. Powszechnie stosowany i uznawany jest model Military Handbook 217 utworzony w celu zapewnienia standardu oceny niezawodności elementów elektronicznych i sprzętu wojskowego do zwiększenia niezawodności projektowanego sprzętu. Model ten przedstawia dwa sposoby przewidywania niezawodności obiektów technicznych: prognozowanie na podstawie liczebności części (ang. *Parts Count*) oraz prognozowanie na podstawie analizy narażeń części (ang. *Part Stress Analysis*). Metoda analizy narażeń części jest metodą bardziej dokładną i w jej przypadku wskaźnik awaryjności dla każdego elementu jest obliczany osobno na podstawie określonych poziomów obciążenia. Generuje ona zwykle mniejszy wskaźnik awaryjności niż metoda zliczania części. Ze względu na wysoki poziom analizy, metoda ta jest bardzo czasochłonna w porównaniu z innymi metodami, lecz daje bardzo wiarygodne wskaźniki awaryjności analizowanych elementów elektronicznych obiektów technicznych, co skłoniło do zastosowania tej metody przy prognozowaniu niezawodności obiektów technicznych na przykładzie pętli przejazdowej w systemie poboru opłat.

1. Zastosowanie metody analizy narażeń części do prognozowania niezawodności na przykładzie pętli przejazdowej w systemie poboru opłat

Zasadniczym elementem biorącym udział w procesie poboru opłat jest pętla przejazdowa montowana na punktach poboru opłat. Zadaniem pętli przejazdo-

wej jest wykrycie obecności pojazdu na stanowisku poboru opłat. Ogólna zasada działania pętli przejazdowej opiera się na zmianie indukcyjności cewki wykonanej z przewodu pętli indukcyjnej. Każda z pętli przejazdowych na wjeździe zasilana jest oddzielnym generatorem o innej częstotliwości. Generowane prądy wirowe w metalowych częściach pojazdu zmniejszają indukcyjność cewki zwiększając częstotliwość generatora. Każdej z pętli przypisany jest oddzielny miernik częstotliwości. Różnica między liczbą impulsów zliczonych w kolejnych cyklach pomiarowych jest miarą zmienności częstotliwości pętli. Wartość progowa częstotliwości pętli zależna jest od rodzaju pojazdu. Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy pętli indukcyjnej [1] stosowanej w systemach poboru opłat na autostradach.



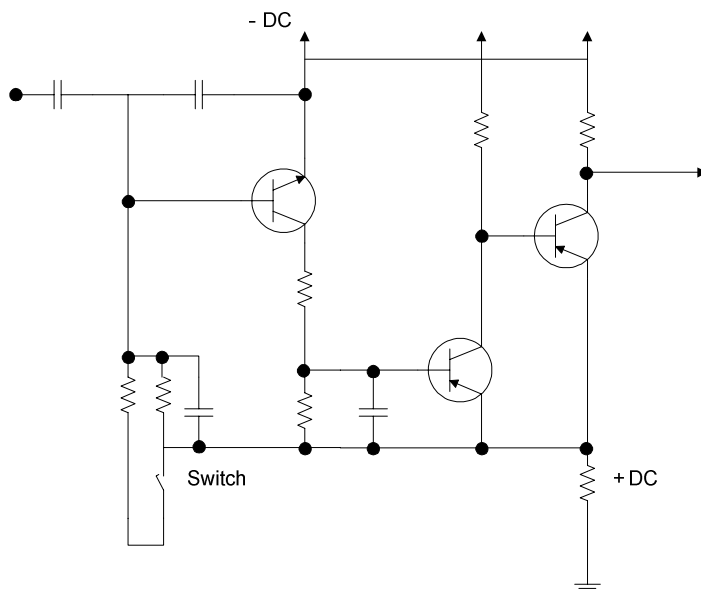
Rys. 1. Schemat blokowy systemu pętli indukcyjnych montowanych na stanowisku poboru opłat

Przykładowo stosując metodę analizy narażeń części do oceny przewidywanego współczynnika uszkodzeń wzmacniacza wejściowego [1] pętli indukcyjnej (rys. 2), dla elementów rezystorowych, przyjęto następującą zależność [2]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_P \times \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ [FPMH]} \quad (1)$$

gdzie: λ_p – wskaźnik uszkodzeń części,
 λ_b – bazowy wskaźnik uszkodzeń,
 π_E – współczynnik środowiskowy,

π_T – współczynnik oddziaływania temperatury,
 π_S – współczynnik obciążenia,
 π_P – współczynnik strat mocy,
 π_Q – współczynnik jakościowy.



Rys. 2. Schemat wzmacniacza wejściowego pętli indukcyjnej

Dla rezystorów typu RC mamy [2]:

$$\lambda_b = 0,0017 \quad (2)$$

$$\pi_T = \exp\left(\frac{-Ea}{8,617 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298}\right)}\right) = 1,137 \quad (3)$$

$$\pi_P = (\text{power dissipation})^{0,39} = (0,1)^{0,39} = 0,407 \quad (4)$$

$$\pi_S = 2,493 \quad (5)$$

$$\pi_Q = 10 \quad (6)$$

$$\pi_E = 1,0 \quad (7)$$

Stąd całkowity przewidywany wskaźnik uszkodzeń części dla 7 rezystorów typu RC wynosi:

$$\lambda_p = 0,0017 \cdot 1,137 \cdot 0,407 \cdot 2,493 \cdot 10 \cdot 1,0 \cdot 7 = 0,137 [FPMH] \quad (8)$$

Dla kondensatorów wzmacniacza wejściowego do oceny przewidywanego wskaźnika uszkodzeń mamy [3]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{cv} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_{SR} [FPMH] \quad (9)$$

Analizując jak powyżej dla 4 kondensatorów typu CK mamy [3]:

$$\lambda_b = 0,00099 \quad (10)$$

$$\pi_{cv} = C^{0,09} = 0,1^{0,09} = 0,812 \quad (11)$$

$$\pi_Q = 10 \quad (12)$$

$$\pi_E = 1,0 \quad (13)$$

$$\pi_T = \exp\left(\frac{-Ea}{8,617 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{298}\right)}\right) = 1,25 \quad (14)$$

$$\pi_S = \left(\frac{S}{0,6}\right)^3 + 1 = \left(\frac{0,8}{0,6}\right)^3 + 1 = 3,37 \quad (15)$$

$$\pi_{SR} = 1,0 \quad (16)$$

Stąd całkowity przewidywany wskaźnik uszkodzeń części dla 4 kondensatorów typu CK wynosi:

$$\lambda_p = 0,00099 \cdot 0,812 \cdot 10 \cdot 1,25 \cdot 3,37 \cdot 1,0 \cdot 4 = 0,135 [FPMH] \quad (17)$$

Do oceny przewidywanego współczynnika uszkodzeń dla przełączników przyjęto następującą zależność [4]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_L \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \pi_C [FPMH] \quad (18)$$

gdzie: λ_p – wskaźnik uszkodzeń części,
 λ_b – bazowy wskaźnik uszkodzeń,
 π_L – współczynnik obciążeniowy,
 π_Q – współczynnik jakościowy,
 π_E – współczynnik środowiskowy,
 π_C – współczynnik łączeniowy.

Analizując, jak powyżej, dla przełącznika rezystywnego mamy [4]:

$$\lambda_b = 0,1 \quad (19)$$

$$\pi_L = 2,145 \quad (20)$$

$$\pi_Q = 1,0 \quad (21)$$

$$\pi_E = 1,0 \quad (22)$$

$$\pi_C = 1,3 \quad (23)$$

Całkowity przewidywany wskaźnik uszkodzeń części dla przełącznika rezystywnego wzmacniacza wejściowego wynosi:

$$\lambda_p = 0,1 \cdot 2,145 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 0,278 [FPMH] \quad (24)$$

Do oceny przewidywanego współczynnika uszkodzeń dla tranzystorów bipolarnych przyjęto następującą zależność [5]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \pi_S \cdot \pi_T \cdot \pi_A [FPMH] \quad (25)$$

gdzie: λ_p – wskaźnik uszkodzeń części,
 λ_b – bazowy współczynnik uszkodzeniowy,
 π_Q – współczynnik jakościowy,
 π_E – współczynnik środowiskowy,
 π_A – współczynnik rodzajowy,
 π_T – współczynnik temperaturowy,
 π_R – współczynnik mocy,
 π_S – współczynnik obciążeniowy.

Analizując, jak powyżej, dla tranzystorów bipolarnych mamy [5]:

$$\lambda_b = 0,00074 \quad (26)$$

$$\pi_R = 1,0 \quad (27)$$

$$\pi_Q = 2,4 \quad (28)$$

$$\pi_E = 1,0 \quad (29)$$

$$\pi_S = 0,045 \exp(3,1(V_S)) = 0,537 \quad (30)$$

$$\pi_T = \exp\left(-2114\left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298}\right)\right) = 1,466 \quad (31)$$

$$\pi_A = 1,5 \quad (32)$$

Całkowity przewidywany wskaźnik uszkodzeń części dla 3 tranzystorów bipolarnych wzmacniacza wejściowego wynosi:

$$\lambda_p = 0,00074 \cdot 1,0 \cdot 2,4 \cdot 1,0 \cdot 0,537 \cdot 1,466 \cdot 1,5 \cdot 3 \quad (33)$$

$$\lambda_p = 0,00629 [FPMH]$$

Całkowity przewidywany wskaźnik uszkodzeń wzmacniacza wejściowego pętli indukcyjnej wynosi zatem:

$$\lambda_{InAMP} = \lambda_p = 0,137 + 0,135 + 0,278 + 0,00629 = 0,56 [FPMH] \quad (34)$$

Analizując podobnie pozostałe obiekty techniczne będące składowymi pętli przejazdowej otrzymano następujący przewidywany całkowity wskaźnik uszkodzeń:

$$\lambda_{Inductive Loop} = 9,763 [FPMH] \quad (35)$$

stąd [6]:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = 102708,335 [hrs] \quad (36)$$

Podsumowanie

Zastosowana metoda analizy narażeń części umożliwiła określenie przewidywanego wskaźnika uszkodzeń pętli przejazdowej, będącej zasadniczym elementem systemu poboru opłat. Wartości intensywności napraw oszacowane zostaną na podstawie standardu MIL-HDBK-472 przy pomocy procedur 2, 5A i 5B oraz MIL-STD-1388 w dalszej części pracy na podstawie metody AT-2 (MTTR prediction). Wyznaczone wskaźniki niezawodności i bezpieczeństwa systemu będą pomocne przy tworzeniu predyktywnego modelu systemu poboru opłat pozwalającego na opracowanie harmonogramu pracy systemu przy wymaganym poziomie gotowości, określonym w Podstawowych Wymaganiach Technicznych do Projektowania, Budowy, Eksploatacji i Zwrotu Autostrady opracowanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych.

Bibliografia

1. United States Patent, Appl. No. 777,854 VEHICLE PRESENCE LOOP DETECTOR.
2. Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment. USA Department of Defense, MIL-HDBK-217F: 9.1 RESISTORS, 28 II 1995 r.
3. Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment. USA Department of Defense, MIL-HDBK-217F Notice 2: 10.1 CAPACITORS, FIXED, CERAMIC, GENERAL PURPOSE 28 II 1995 r.
4. Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment. USA Department of Defense, MIL-HDBK-217F: 14.1 SWITCHES, 28 II 1995 r.
5. Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment. USA Department of Defense, MIL-HDBK-217F: 6.3 TRANSISTORS, LOW FREQUENCY, BIPOLAR, 28 II 1995 r.
6. Military Handbook: Electronic Reliability Design Book. USA Department of Defense, MIL-HDBK-338B: 1 IX 1998 r.

Recenzent:

Wojciech ZAMOJSKI

The use of the Part Stress Analysis method to predict the reliability of the technical objects on the example of inductive loop applied on the toll collection system on highways

Key-words

The methods of predicting the reliability of the technical objects, the toll collection system, the Parts Stress Analysis method.

Summary

The article presents the conception of the Parts Stress Analysis prediction method and procedures to predict the reliability of the technical objects on the example of inductive loop in the toll collection system. The aim of the above method will be, in further part of the article, the analysis and evaluation of the system allowing to elaborate of the work schedule of the system together with the defined availability and equipment.

