

Układ do diagnostyki tensometrów stosowany w badaniach wytrzymałościowych taboru kolejowego.

W pracy opisano układ do diagnostyki tensometrów stosowany w badaniach wytrzymałościowych taboru kolejowego. Układ ten sygnalizuje wszystkie charakterystyczne wartości rezystancji, które są niezbędne do prawidłowej pracy układu pomiarowego współpracującego z tensometrami naklejanymi na obiekcie badanym.

1. Wprowadzenie

W badaniach wytrzymałościowych taboru kolejowego istotne jest to, by po naklejeniu dużej ilości tensometrów (kilkuset sztuk) w czasie badań naprężeń i sił na obiekcie badanym, takim jak: rama wózka, cysterna itp. po podłączeniu do aparatury pomiarowej, można w sposób łatwy przeprowadzić diagnostykę tensometrów. Ma to istotne znaczenie w przypadku mocowania tensometrów na trudno dostępnych powierzchniach takich jak: krzywizna powierzchni, brak oświetlenia, gdzie przyrząd musi być obsługiwany jedną ręką a stan techniczny tensometrów naklejanych na obiekcie badanym ma być wyświetlany na diodach elektroluminescencyjnych. Układ do diagnostyki tensometrów ma sygnalizować wszystkie charakterystyczne wartości rezystancji, które są niezbędne do prawidłowej pracy tensometrów.

Układ ma w stosunkowo prosty sposób ocenić właściwą pracę tensometrów. Wyróżnione zostały cztery podzakresy (świecenie diod elektroluminescencyjnych) oceniające prawidłową pracę tensometrów naklejanych na obiekcie badanym.

- A. W przypadku badań rezystancji tensometru.
- I. $R_T = 0 \div 10 \Omega$ uszkodzenie, (zwarcie) tensometru.
 - II. $R_T = 105 \div 135 \Omega$ rezystancja tensometru prawidłowa (120 Ω).
 - III. $R_T > 0,5 M\Omega$ uszkodzenie, przerwa tensometru.
 - IV. $R_T > 1 M\Omega$ uszkodzenie, przerwa tensometru.
- B. W przypadku badania rezystancji między obiektem badanym a tensometrem
- III. $R_p > 0,5 M\Omega$ względna dobra oporność izolacji między obiektem badanym a tensometrem.
 - IV. $R_p > 1 M\Omega$ bardzo dobra oporność izolacji między obiektem badanym a tensometrem.

Układ do diagnostyki tensometrów wykorzystywany jest do badań mechanicznych tylko jako wskaźnik. Układ ten nie służy do dokładnego pomiaru rezystancji tensometrów i odpowiedniego ich selekcjonowania, lecz umożliwia w prosty i niezawodny sposób ocenić zachowanie się tensometrów w czasie eksploatacji i ułatwia znalezienie uszkodzonych elementów w czasie badań. Umożliwia on także oszacowanie całego układu pomiarowego pod względem jakości rezystancji izolacji.

2. Rezystancyjne dzielniki napięcia

Zbudowanie układu według przedstawionych założeń było problemem trudnym, ponieważ nie znany był prosty

przetwornik lub układ pomiarowy, który bez ręcznego przełączania zakresów umożliwił by uzyskanie odpowiednio dużych zmian napięcia na rezystancyjnych dzielnikach napięcia po dołączeniu rezystancji w zakresie $0 \div 1 M\Omega$, zarówno dla dużych jak i małych wartości rezystancji.

Możliwe jest to jednak w przypadku stosowania układów przełączających poszczególne zakresy pomiarowe np. $0 \div 135 \Omega$; $0,5 M\Omega$; $1 M\Omega$. Ręczne przełączanie zakresów eliminowało by układ jako nieużyteczny w warunkach eksploatacyjnych. Problem, który należało rozwiązać to znalezienie odpowiedniego układu dzielnika wejściowego, który spełnił by wymagane warunki. Analizowane były różne układy, które mogły by spełnić wymienione wymagania. W pracy [2] przedstawiono wiele interesujących układów charakterystyk rezystancji w funkcji kąta obrotu potencjometru.

Układy z pracy [2] przedstawione na rys.1 a-k można wykorzystać zastępując zmianę wartości rezystancji R_T potencjometru wartością rezystancji występujących podczas diagnozowania układów tensometrycznych.

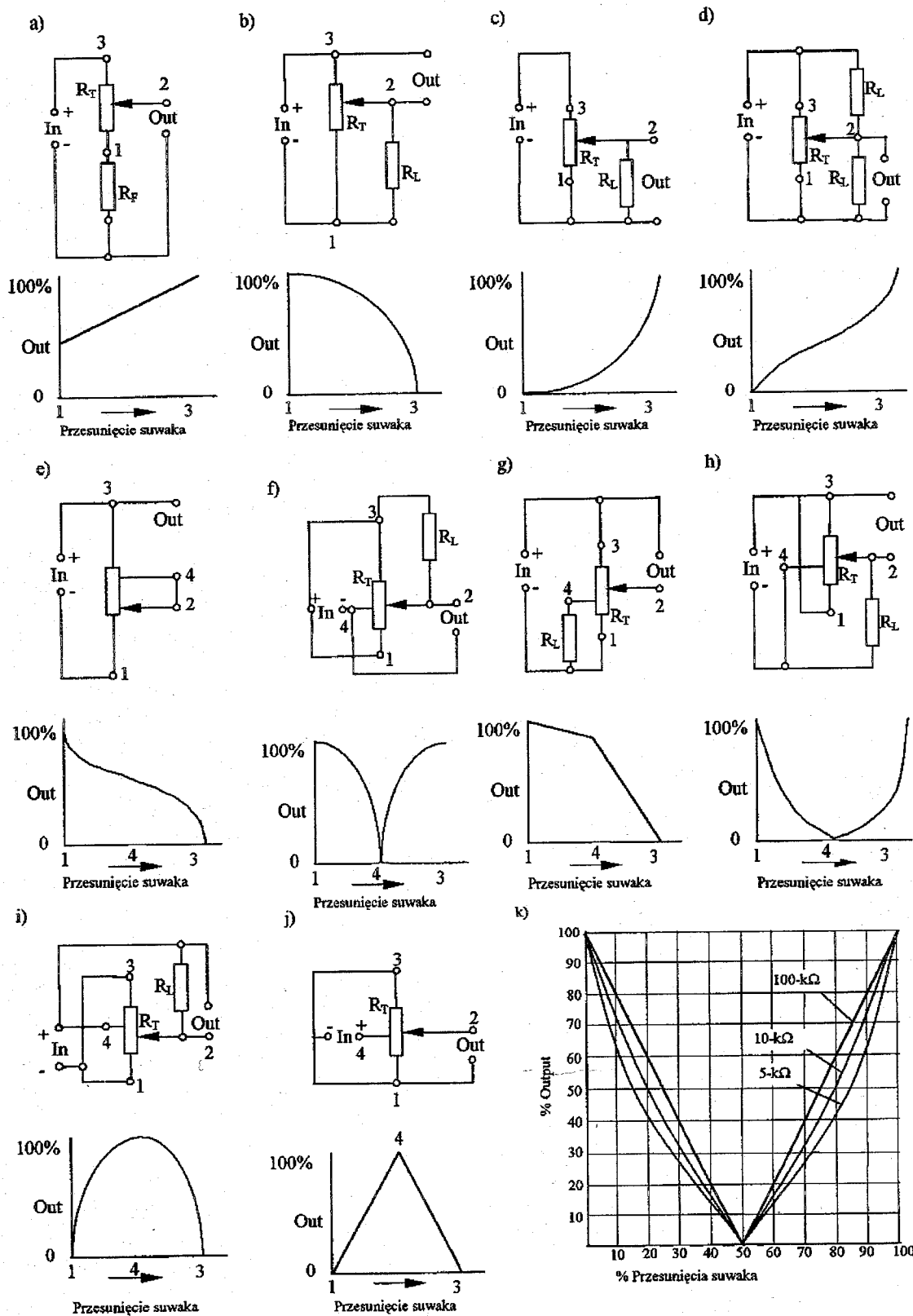
Rysunki 1a-k przedstawiają dziesięć różnych wariantów układów złożonych z potencjometrów i jednego lub dwóch rezystorów stałych. Przyporządkowane im charakterystyki opisują zależność napięcia wyjściowego od kąta obrotu osi potencjometru.

Cztery pierwsze schematy przedstawiają warianty układowe zawierające potencjometry liniowe. Pierwszy układ ma charakterystykę liniową z minimalną (różną od zera) wartością napięcia wyjściowego, zależną od R_F (rys. 1a). Dwa kolejne wykazują nieliniowość charakterystyki związaną z dołączeniem rezystorów R_L (rys. 1b i 1c). Stopień nieliniowości zależy od stosunku R_L i R_T ; duże wartości R_L mają wpływ na kształt charakterystyki, małe zaś powodują silną nieliniowość. Czwarty układ rys. 1d, w którym zastosowano dwa rezystory stałe, ma charakterystykę nieliniową na początku i końcu zakresu i prawie liniową w środku. Podobnie jak poprzednio, stopień nieliniowości jest zależny od stosunku R_L i R_T ; duże wartości powodują, że zakres liniowej części jest szeroki; przy średnich wartościach uzyskuje się średni stopień nieliniowości na krańcach.

W kolejnych sześciu układach wykorzystywano potencjometry z odczepem. Przedstawiony na rys. 1e ma charakterystykę będącą odwróceniem poprzedniej. Kolejne układy mają charakterystyki „o dwóch nachyleniach”, niektóre mają część liniową, a inne są całkowicie nieliniowe. Układ przedstawiony na rys. 1g ma charakterystykę łamaną. Punkt załamania występuje zwykle w połowie pełnego kąta obrotu osi potencjometru. Nachylenie charakterystyki w pierwszej części i położenie punktu załamania zależy od wartości R_L . Względnie duże wartości R_L powodują, że charakterystyka

jest prawie ciągła z lekko zaznaczonym punktem przełączenia. Odpowiedni dobór wartości rezystora stałego pozwala na uzyskanie charakterystyki logarytmicznej. W celu przedstawienia wpływu różnych wartości R_L na kształt charakterystyki na rys. 1k pokazano rodzinę krzywych opisujących zachowanie

układu z rys. 1h dla różnych wartości rezystancji R_L ; wartość rezystancji potencjometru R_T wynosi $10k\Omega$. Rezystor R_L o wartości $100k\Omega$ ma znikomy wpływ na kształt charakterystyki wypadkowej.

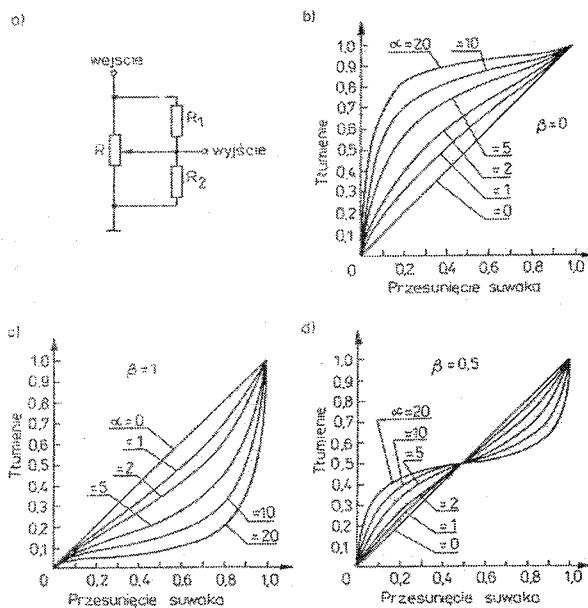


Rys.1 Rezystancyjne dzielniki napięcia.

W pracy [3] przedstawiono logarytmiczne i wykładnicze nieliniowe charakterystyki potencjometrów. O wiele lepsze efekty można uzyskać stosując przedstawione w pracy [4] potencjometry o liniowej charakterystyce zmiany rezystancji w funkcji przesunięcia suwaka i dwa rezystory o odpowiednio dobranych wartościach. Układy z pracy [4] przedstawiono na rys.2 a+d. Są to charakterystyki tłumienia dzielnika w funkcji przesunięcia suwaka potencjometru dla trzech przypadków $\beta=1$ (brak rezystancji R_1); $\beta=0$ (brak rezystancji R_2); $\beta=0,5$ ($R_1=R_2$)

Wprowadzono oznaczenia pomocnicze

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}; \quad \alpha = \frac{R}{R'} \quad \text{gdzie} \quad R' = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



Rys.2 Nieliniowe rezystancyjne dzielniki napięcia.

Zebrane w [2] i [4] i przedstawione na rys.1 a+k i na rys.2 a-d układy potencjometrów są istotne w wielu układach pomiarowych do kształtowania charakterystyk napięciowych wejście-wyjście. Pożądany kształt nieliniowej charakterystyki rezystancji wypadkowej w funkcji zmiennej wartości rezystancji (przesunięcie suwaka potencjometru) może być tutaj osiągnięty dzięki zastosowaniu kombinacji standardowych elementów o zmiennej rezystancji i o jednej lub większej liczbie rezystorów stałych. Takie rozwiązanie jest bardzo tanie i może spełniać najbardziej wyszukane wymagania.

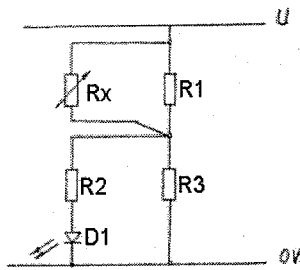
Analiza przedstawionych układów wykazała, że pomimo ich uniwersalności, nie jest możliwe zbudowanie układu, który w tak dużym zakresie zmian rezystancji $0 \rightarrow 1M\Omega$ uzyskałby znaczące zmiany napięcia na dzielnikach rezystancyjnych w zakresie bardzo małych i bardzo dużych rezystancji jednocześnie. Będzie to tylko możliwe w takim przypadku, gdy zbudowany będzie taki układ, który po podłączeniu w sposób automatyczny utworzy różne dzielniki napięcia, które w sposób znaczący zmieniać będą napięcie przy załączonych bardzo małych (zwarcie tensometru), jak również bardzo dużych rezystancjach (przerwa w tensometrze). Układ taki zostanie opisany w następnym punkcie artykułu.

3. Automatyczny rezystancyjny dzielnik napięcia [1]

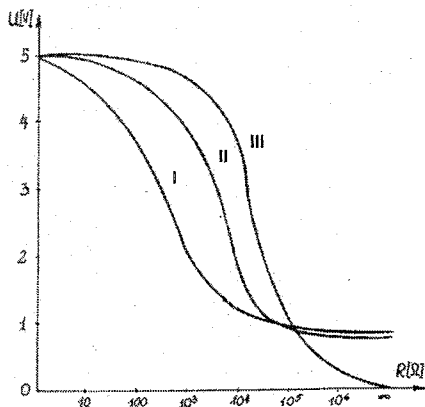
Na rys.3 rezystor R_x jest podłączony równolegle do rezystora R_1 , który wraz z rezystorami R_3 , R_2 i diodą D_1 tworzą dzielnik napięcia. Rezystory R_1 i R_3 o dużych wartościach rezystancji przy odłączonym R_x i nie przewodzącej diodzie D_1 tworzą dzielnik napięcia, w którego węzle R_1 , R_2 , R_3 istnieje napięcie około 0,6V przy napięciu zasilania 5V. Z chwilą podłączenia dużej wartości rezystancji R_x utworzony jest dzielnik napięcia z rezystancji zastępczej R_x i R_1 (równoległe połączenie dwóch rezystorów) i rezystora R_3 . Rezystor R_2 i dioda D_1 stanowią bardzo dużą wartość rezystancji do momentu, gdy dioda D_1 elektroluminescencyjna nie przewodzi (nie świeci) i chociaż są połączone równolegle do rezystora R_3 , zachowują się tak, jak by była przerwa. Rezystancja zastępcza (równoległe połączenie R_x i R_1) zamienia swoją wartość nieznacznie w stosunku do wartości rezystancji R_1 , gdy wartość rezystancji R_x jest wielokrotnie większe od wartości rezystancji R_1 . W takim przypadku mimo zmian wartości rezystancji R_x uzyskujemy małe zmiany wartości rezystancji zastępczej, której wartość jest zbliżona do wartości rezystora R_1 . W takim przypadku zmiany rezystancji R_x o dużych wartościach powodują małe zmiany napięcia w węzle R_1 , R_2 , R_3 . Dzielnik napięcia jest jakby utworzony z rezystancji R_1 i R_3 . Z chwilą, gdy wartość rezystancji R_x jest porównywalna z wartością rezystancji R_1 , zmiany wartości rezystancji R_x zaczynają mieć wpływ na zmianę wartości rezystancji zastępczej (równoległej), połączenie rezystancji R_1 i R_x . Dzielnik napięcia jest bardziej podatny na zmiany rezystancji R_x . Z chwilą, gdy wartość rezystancji R_x maleje znacznie poniżej wartości rezystancji R_1 rezystancja zastępcza (równoległa) jest bardziej zbliżona do wartości rezystancji R_x , a napięcie w węzle R_1 , R_2 , R_3 ulega znacznej zmianie (potencjał względem masy ulega podwyższeniu). Z chwilą, gdy napięcie między węzłem a masą ulega takiemu podwyższeniu dioda D_1 przewodzi (zaczyna świecić) i rezystancja diody ulega znacznemu obniżeniu (kilkaset razy). W takim przypadku, rezystancje D_1 i R_2 mają wpływ na pracę dzielnika. Rezystor R_3 wraz z diodą D_1 i rezystorem R_2 tworzą nowe równoległe połączenie i wartość rezystancji wypadkowej jest bardzo mała równa wartości rezystancji R_2 i D_1 .

Taki układ umożliwia uzyskanie nowego dzielnika utworzonego z rezystancji zastępczej R_x i R_1 (równoległej o małej wartości rezystancji) i rezystancji zastępczej z R_3 , D_1 , R_2 także o małej wartości rezystancji. W takim układzie, mimo małych wartości rezystancji rzędu kilku lub kilkudziesięciu omów uzyskujemy duże zmiany napięcia w węzle R_1 , R_2 , R_3 . Układ podstawowego dzielnika złożony z dużych wartości rezystancji R_1 i R_3 umożliwia duże zmiany napięcia w węzle R_1 , R_2 , R_3 przy rezystancji R_x porównawczej z rezystancją R_1 (rzędu setek i dziesiątek kiloomów), gdy dioda D_1 nie przewodzi. Z chwilą, gdy dioda D_1 przewodzi (świeci), można uzyskać bardzo duże zmiany napięcia w węzle R_1 , R_2 , R_3 dla bardzo małych wartości rezystancji rzędu kilku lub kilkudziesięciu omów. Taka praca aktywnego dzielnika napięcia umożliwia uzyskanie znaczących zmian napięcia dzielnika przy zmianach rezystancji badanej R_x od $0 \rightarrow 1M\Omega$. Stosując różnego typu diody, jak diody półprzewodnikowe spolaryzowane w kierunku przewodzenia, różnego typu diody elektroluminescencyjne i diody Zenera, można uzyskać układy o różnych charakterystykach napięcia wyjściowego. Na rys.4 przedstawiono kształt charakterystyk, gdzie krzywa

I powstała przy załączeniu R_1, R_2, D_1, R_3 i R_x , krzywa II przy załączonym R_1, R_2 , i R_x a krzywa III przy załączeniu R_1, R_3 .



Rys.3 Automatyczny napięciowy dzielnik rezystancyjny.



Rys.4 Charakterystyka automatycznego napięciowego dzielnika rezystancyjnego.

4. Układ do diagnostyki tensometrów stosowany w badaniach wytrzymałościowych taboru kolejowego.

Układ do diagnostyki tensometrów stosowany w badaniach wytrzymałościowych taboru kolejowego jest układem, który sygnalizuje wszystkie charakterystyczne wartości rezystancji, które są niezbędne do prawidłowej pracy tensometrów.

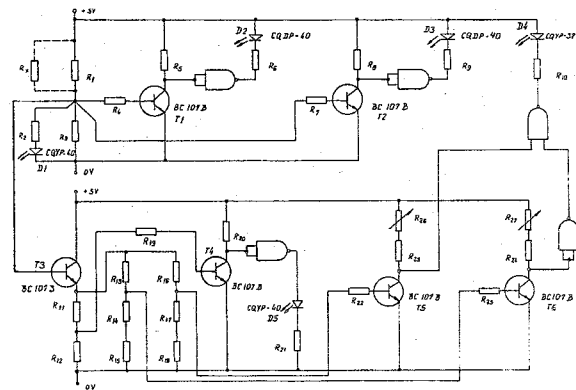
Układ ten nie służy do dokładnego pomiaru rezystancji tensometru i odpowiedniego ich selekcjonowania, lecz umożliwia w sposób prosty i niezawodny określić zachowanie się tensometrów w czasie eksploatacji i łatwe znalezienie uszkodzonego elementu w czasie badań. Umożliwia on także oszacowanie całego układu pomiarowego pod względem jakości rezystancji izolacji.

Na rys.5 przedstawiono szczegółowy schemat ideowy układu do diagnostyki tensometrów.

Rezystor R_x jest rezystancją badaną znajdującą się poza obudową układu diagnozowania tensometrów.

Zmiany napięcia z węzła dzielnika R_1, R_2, R_3, R_4, R_7 przekazywane są poprzez układy dopasowujące (rezystory R_4 i R_7) do baz tranzystorów T_1, T_2 i na bazę tranzystora T_3 . Układ dopasowujący i wzmocnienie wzmacniacza zbudowanego z tranzystora T_1 są tak dobrane, że zmiana napięcia w

węzle dzielnika przy dołączeniu rezystancji poniżej $1M\Omega$ powoduje przesterowanie wzmacniacza, który pracuje jako klucz. Sygnał z kolektora T_1 przekazywany jest na bramkę NAND i diodę D_2 (elektroluminescencyjną żółtą), która przestaje świecić.

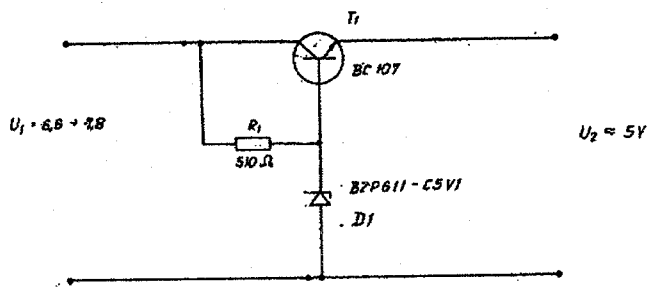


Rys.5 Układ do diagnostyki tensometrów.

Z chwilą gdy R_x jest wartością zbliżoną do wartości rezystancji zwarcia $R_x < 10\Omega$ zaczyna świecić dioda D_5 (elektroluminescencyjną czerwoną). Sygnał z węzła R_1, R_2, R_3, R_4, R_7 dzielnika poprzez układ wtórnik (tranzystor T_3) zbudowanego z dzielników R_{11} i R_{12} przekazywany jest przez układ dopasowujący R_{19} na wzmacniacz zbudowany na tranzystorze T_4 . Wzmacniacz z tranzystorem T_4 pracuje jako klucz i przy oporności $R_x < 10\Omega$ zmiana napięcia na kolektorze tranzystora powoduje zmianę napięcia na wyjściu bramki NAND i dioda D_5 (elektroluminescencyjna czerwona) zaczyna świecić. W tym czasie diody D_2 i D_3 (elektroluminescencyjne żółte) nie świecą.

Z chwilą, gdy wartość rezystancji R_x jest wartością zbliżoną do wartości rezystancji tensometru $R_x = 120 \pm 15\Omega$ zaczyna świecić dioda D_4 (elektroluminescencyjna zielona).

Sygnał z węzła R_1, R_2, R_3, R_4, R_7 poprzez układ wtórnik zbudowanego na tranzystorze T_3 i rezystorach R_{11} i R_{12} przekazywany jest na dzielnik rezystancji R_{13}, R_{14}, R_{15} dzielnik rezystancji R_{16}, R_{17}, R_{18} skąd sygnały są przekazywane przez układy dopasowujące R_{22} i R_{25} na bazy tranzystorów T_5 i T_6 , które pracują jako wzmacniacze z przesterowaniem (jako klucze). Dzielniki rezystancji R_{13}, R_{14}, R_{15} i dzielniki rezystancji R_{16}, R_{17}, R_{18} są tak dobrane by uzyskać odpowiednie napięcia przesterowujące tranzystory T_5 i T_6 przy wartościach rezystancji 135Ω i 105Ω . Sygnał z kolektora tranzystora T_5 poprzez bramkę NAND przekazywany jest na wejście następnej bramki NAND, a sygnał z kolektora tranzystora T_6 na wspólne wejście bramki NAND. Te dwa sygnały powodują w zakresie zmian rezystancji $R_x = 120 \pm 15\Omega$ zaświecenie się diody elektroluminescencyjnej zielonej D_4 .



Rys.6 Zasilacz stabilizowany .

Na rys. 6 przedstawiony jest układ zasilania zbudowany z sześciu akumulatorów, których napięcie jest stabilizowane. Układ ten umożliwia przy zmianach napięcia w zakresie $6,6 \div 7,8$ Uzyskanie stabilizowanego napięcia zasilania na wyjściu w przybliżeniu równe około 5V.

5. instrukcja obsługi

Załączenie układu do diagnostyki tensometrów odbywa się za pomocą przełącznika znajdującego się na zewnątrz obudowy. Wskaźnik sygnalizuje oporność $1M\Omega < R_x < \infty$ i wtedy świecą się dwie żółte diody elektroluminescencyjne.

W zakresie rezystancji $0,5M\Omega < R_x < 1M\Omega$ świeci się tylko jedna żółta dioda elektroluminescencyjna.

W zakresie rezystancji $135\Omega < R_x < 0,5M\Omega$ nie świeci się żadna dioda elektroluminescencyjna.

W zakresie rezystancji $105\Omega < R_x < 135\Omega$ świeci się zielona dioda elektroluminescencyjna.

W zakresie rezystancji $10\Omega < R_x < 105\Omega$ nie świeci się żadna dioda elektroluminescencyjna.

W zakresie rezystancji $R_x < 10\Omega$ świeci się czerwona dioda elektroluminescencyjna.

Układ do diagnostyki tensometrów składa się z dwóch części. Pierwsza część to obudowa o wymiarach 120x80x40mm, w którym umieszczono baterie zasilające oraz układ elektroniczny. Obudowa ta łączona jest kablem do drugiej obudowy w kształcie pisaka, w którym znajdują się diody elektroluminescencyjne sygnalizujące wartości rezystancji R_x czyli badanego obiektu (tensometru lub rezystancji izolacji obiektu na którym naklejone są tensometry). Obudowa pisaka o bardzo małych wymiarach umożliwia przeprowadzenie diagnostyki układów tensometrycznych korzystając tylko z jednej ręki.

LITERATURA

- [1] Bocian S.:Napięciowy dzielnik rezystancyjny. Patent UPPRL nr 136136,1986
- [2] Bolin R.:Variable resistors can take on custom jobs. *Electronic Design*, May 23, 1991 s.94
- [3] Rudnicki C.: Charakterystyka potencjometrów – na życzenie. *Radiotechnik Audio – HiFi-Video* nr 5/1999
- [4] Rudnicki C.: Nieliniowe dzielniki napięcia. *Elektronizacja* nr 9/87