

Błąd pomiaru, czyli procenty mieszane z cyframi

Pomiary elektryczne wykonujemy niemal codziennie, ale jak często zastanawiamy się nad oceną ich wyników? Prawie nigdy, bo traktujemy tę czynność rutynowo. Wyniki pomiarów przyjmujemy po prostu takie, jakie są, ufając że wskazania miernika są wiarygodne.

Świat nie jest idealny, dobrze to wiemy, chociaż jakże często o tym zapominamy. Idealne nie są przyrządy pomiarowe, których używamy na co dzień w pracy. Każdy z nich charakteryzuje się pewnym błędem, najczęściej zależnym od funkcji i wybranego zakresu pomiarowego. Wykonując rutynowe pomiary nawet nie próbujemy szacować przedziału, w jakim rzeczywiście mieści się wartość napięcia, prądu, rezystancji itp. Co gorsze, prawdopodobnie większość kupujących przyrządy pomiarowe nie bierze pod uwagę ich dokładności, a o wyborze, o zgrozo, decyduje ładny wygląd czy liczba funkcji, które *notabene* w większości i tak nie będą wykorzystywane w praktyce. Panuje również obiegowa opinia o tym, że najmniejszy miernik cyfrowy i tak będzie „o niebo” lepszy od całkiem niezłego miernika analogowego. Opinię tę spróbujemy zweryfikować na kilku przykładach. Trzeba jednak pamiętać, że niezależnie od klasy przyrządu na błąd pomiaru ma wpływ m.in. przyjęta metoda pomiarowa. I tu faktycznie trzeba przyznać wyższość, a w najgorszym przypadku równość mierników cyfrowych nad analogowymi. Widać to dobrze na przykład przy pomiarach napięć, podczas których nie można zapomnieć o tym, że woltomierz nie ma nieskończonej impedancji wejściowej. Dołączenie miernika do mierzonego obwodu zawsze zmienia warunki jego pracy, przy czym może to być efekt pomijalny (tego byśmy sobie życzyli), albo może spowodować totalne zakłócenie pracy (do czego nie możemy dopuścić). Sprawdźmy, jak to wygląda w praktyce.

Błąd metody

Załóżmy, że chcemy zmierzyć punkt pracy tranzystora we wtórniku emiterowym z układem *bootstrap* (rys. 1). Do dyspozycji mamy miernik analogowy UM200 charakteryzujący się impedancją wejściową 20 kΩ/V i miernik cyfrowy Tektronix DM914 o impedancji wejściowej 10 MΩ. Ustawiamy więc nasze mierniki w tryb pomiaru napięć stałych i dołączamy kolejno bezpośrednio do bazy tranzystora. W mierniku UM200 ustawia-

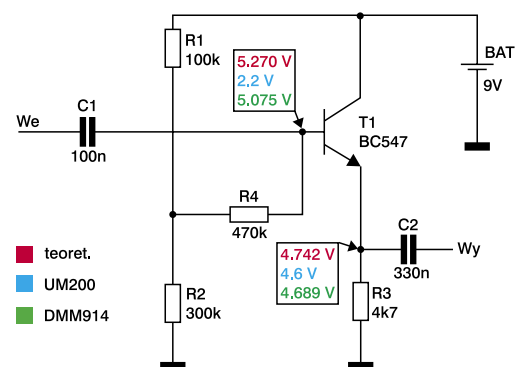


my zakres pomiarowy 15 V i odczytujemy wskazanie: 2,2 V. To samo powtarzamy z Tektornix'em – odczytujemy 5,075 V. Różnica całkiem spora: 2,875 V. Mamy więc problem. Który wynik jest bardziej wiarygodny? Powtórzmy pomiar dla napięcia na emiterze tranzystora. Tym razem uzyskaliśmy odpowiednio: $U_{EUM} = 4,6$ V i $U_{Ete} = 4,689$ V. Różnica jest znacznie mniejsza, równa tylko 0,089 V. Czyżby zmieniła się dokładność pomiarów? Oczywiście nie. Podejrzewamy, że przyczyną uzyskania różnych wyników jest błąd metody pomiarowej. W istocie, jeśli policzymy oporność widzianą między bazą T1 a masą – potraktujmy to jako ćwiczenie teoretyczne do samodzielnego wykonania, to okaże się, że oporność ta jest porównywalna z opornością wewnętrzną miernika UM200. Jego dołączenie do bazy T1 musi więc spowodować widoczną zmianę punktu pracy tranzystora. Na rys. 1 zaznaczono trzema kolorami napięcia w poszczególnych punktach układu odpowiadające sytuacjom: bez mierników (wartości teoretyczne) – kolor czerwony, z dołączonym miernikiem UM200 – kolor niebieski i z miernikiem DMM914 – kolor zielony. Miernik UM200 ustawiony na zakres 15 VDC ma oporność wewnętrzną ok. 300 kΩ, natomiast oporność miernika DMM914 wynosi ok. 10 MΩ. Jak widać, istotny błąd pomiaru nie występuje praktycznie w przypadku pomiaru napięć na emiterze T1. Oporność widziana w tym punkcie jest dużo mniejsza niż na bazie T1, stąd praktycznie nie zauważamy wpływu mierników na zmianę punktu pracy tranzystora. Przykład wykazuje, że zawsze warto zastanowić się nad interpretacją uzyskanego wyniku, a nie przyjmować go bezkrytycznie.

To jednak nie koniec pułapek, jakie na nas czyhają podczas pomiarów. Można nawet powiedzieć, że z powyższych zagrożeń na ogół zdajemy sobie sprawę i potrafimy sobie z nimi jakoś poradzić. Gorzej jest z błędami pomiarowymi wynikającymi z samej dokładności miernika. Producent podaje ten parametr dla każdego zakresu i funkcji pomiarowej. Niestety najczęściej informacje te są ignorowane podczas rutynowych pomiarów, a jakie mogą być tego skutki? Popatrzmy niżej.

W parametrach technicznych określających błąd każdego miernika cyfrowego widzimy zapis postaci np.: $\pm(0,5\%+40)$. Interpretacja liczby stojącej przy znaku procenta jest, jak się wydaje, dość oczywista – określa ona maksymalny błąd względny w odniesieniu do zakresu pomiarowego i wybranej funkcji pomiarowej. Co natomiast oznacza druga liczba znajdująca się w nawiasie?

W danych technicznych spotykamy czasami również zapis $\pm(0,5\%+40$ cyfr), co jednak jest określeniem niezbyt ścisłym, a nawet wprowadzającym pewien zamęt, bo o jakich 40 cyfrach



Rys. 1.

tu mówimy, skoro wyświetlacz ma ich np. tylko 5. Aby zrozumieć sens owych 40 cyfr musimy poznać zasadę działania miernika cyfrowego. Jak się domyślamy, w takim przyrządzie musi się znajdować jakiś przetwornik analogowo-cyfrowy. Będzie się on charakteryzował określoną rozdzielczością. Parametr ten określa najmniejszy kwant wielkości mierzonej. Przykładowo dla przetwornika 10-bitowego konwertującego napięcie na wartość liczbową i pracującego z napięciem referencyjnym równym 2,5 V, rozdzielczość będzie równa $2,5 \text{ [V]} / 2^{10} = 2,44 \text{ [mV]}$. Jeśli taki przetwornik zastosujemy do woltomierza dysponującego 4-cyfrowym wyświetlaczem i zakresem pomiarowym 2,000 V, to już widzimy, że mimo teoretycznej rozdzielczości naszego miernika na tym zakresie równej 1 mV, nie jest możliwe uzyskanie wiarygodnego wskazania na najmniej znaczącej pozycji. Wynika to z faktu, że rozdzielczość przetwornika A/C jest mniejsza niż rozdzielczość wyświetlacza. Sytuację pogarszają dodatkowo szumy przetwornika i inne błędy powstające podczas konwersji wielkości analogowej na cyfrową (np. błąd kwantyzacji). Ostatecznie, zawsze najmłodszy bit, a najczęściej będzie ich więcej, nie zachowują się stabilnie, zmniejszając efektywną rozdzielczość przetwornika. Jeśli w przetworniku z naszego przykładu niestabilne będą trzy bity, to jego rzeczywista rozdzielczość będzie równa $2^3 * 2,44 \text{ [mV]} = 19,52 \text{ [mV]} \approx 0,020 \text{ [V]}$. Te 0,020 V (taki zapis jest zastosowany celowo, aby odpowiadał wskazaniu wyświetlacza) to nie jest jak widać błąd procentowy wynikający np. z dokładności wykonania pomiarowych dzielników napięciowych (posobników), czy innych elementów toru pomiarowego. Jak nietrudno się domyślić, w danych technicznych informujących o błędzie naszego woltomierza na zakresie 2 V pojawi się zapis $\pm(x\%+20)$, gdzie x jest procentową wartością błędów zakresowego. Jakie mogą być konsekwencje zapomnienia o błędzie miernika powinien wyjaśnić poniższy przykład.

Błąd względny

Naszym nowym zadaniem będzie określenie rozrzutu wyników pomiaru napięcia sieci

230 VAC wykonanego kilkoma miernikami. Taki, a nie inny pomiar został wybrany do przykładu dość tendencyjnie i mało obiektywnie, ale przecież nie można mu zarzucić, że jest mało praktyczny. Po pierwsze, dość wysoka wartość mierzonego napięcia da w efekcie również dużą wartość błędów bezwzględnych, co zapewni nam uzyskanie spektakularnego wyniku. Po drugie, mniejsza na ogół dokładność multimetrów na zakresie AC w porównaniu do zakresów DC również spowoduje zwiększenie błędów, a o to właśnie chodzi.

Przestrzegamy przed próbą przeprowadzenia tego eksperymentu przez młodych elektroników. Mamy do czynienia z napięciem zagrażającym życiu. Wszelkie próby powinny być prowadzone pod kontrolą osoby dorosłej.

Do pierwszego pomiaru weźmiemy multimetr Tektronix DMM914, który ma możliwość pomiaru 4- lub 5-cyfrowego. My ustawimy miernik w trybie 5-cyfrowym. Będzie on mierzył na zakresie 400 V (wybrany zresztą przez układ automatyki jako najbardziej optymalny). Według danych technicznych, w tym przypadku błąd pomiaru jest równy $\pm(0,8\%+40)$, a rozdzielczość pomiaru będzie równa 0,01 V. Zakładając, że miernik wskaże 230,00 V błąd pomiaru będzie równy: $\Delta U_{TX} = \pm(0,008 * 230 + 40 * 0,01) = \pm 2,24 \text{ V}$. Rzeczywiste napięcie zawiera się więc w przedziale 227,76...232,24 V.

Jako drugi posłuży nam do pomiaru analogowy miernik UM200. Jest to wiekowy już przyrząd klasy 2,5, co oznacza, że błąd pomiaru jest równy 2,5% wartości mierzonej, czyli $\Delta U_{UM} = \pm 0,025 * 230 = \pm 5,75 \text{ V}$. Przy wskazaniu napięcia 230 V, jego rzeczywista wartość może się więc zawierać w przedziale 224,25...235,75 V. No tak. Wynik jest zdecydowanie gorszy. Należało się tego spodziewać. Ale... Sprawdźmy jeszcze, jak analogiczna sytuacja wygląda z niezłym, bądź co bądź, miernikiem METEX M-3800. Niestety zakres pomiarowy 200 VAC jest za mały do pomiaru, który chcemy wykonać, a następny to 700 VAC. Miernik ma wtedy błąd $\pm(1,2\%+3)$, co przy dostępnej na tym zakresie rozdzielczości 1 V da błąd bezwzględny

równy $\Delta U_{METEX} = \pm(0,012 * 230 + 3 * 1) = \pm 5,76 \text{ V}$. Jak widać pomiar z pozoru dokładniejszym METEX-em (błąd 1,8% jeśli zapomnimy o drugim członie tego parametru) będzie się charakteryzował bezwzględnym błędem większym niż dla taniej, wysłużonej, analogowej UM-ki o klasie 2,5. Oczywiście dla niższych napięć M-3800 wykaże swą wyższość, ale trudno polecić ten model elektrykom mierzącym na co dzień napięcie sieci 230 V. Do takich zastosowań można znaleźć lepsze mierniki cyfrowe.

Na zakończenie proponuję jeszcze jedno sprawdzenie, mimo że może już to trochę nudzić Czytelników. Zobaczymy jak wygląda przydatność taniego miernika cyfrowego DT830D do pomiarów napięcia sieciowego. Miernik taki można kupić już za ok. 10 zł (samo pudełko jest pewnie więcej warte). DT830D jest wyposażony w wyświetlacz 3 1/2-cyfry, a najbardziej odpowiedni dla nas zakres pomiarowy to 750 V przy rozdzielczości 1 V. Błąd pomiaru jest równy $\pm(1,2\%+10)$, co dla zmierzonego napięcia 230 V da rozrzut wartości w zakresie $\pm 12,76 \approx 13 \text{ V}$, czyli od 217 do 243 V. No cóż. Totalna porażka. Ten „miernik” (cudzysłów chyba uzasadniony, bo w tym przypadku należy przyrząd traktować raczej już tylko jako wskaźnik napięcia) „nie dorasta nawet do pięt” analogowej i to dość przeciętnej UM-ce.

Uważny Czytelnik zauważył zapewne, że między wierszami artykułu ukryto różniczenie pomiędzy rozdzielczością miernika cyfrowego a jego dokładnością. Nie są to synonimy, chociaż panuje taki dość powszechny pogląd. Trudno się temu dziwić, bo intuicyjnie można mieć faktycznie takie przekonanie. Na domiar złego, wykorzystują to bezlitośnie producenci chępiąc się w folderach reklamowych wysoką rozdzielczością swoich przyrządów.

Mam nadzieję, że po lekturze artykułu Czytelnicy będą bardziej krytycznie podchodzić do wszelkich pomiarów elektrycznych. Wnioski nie dotyczą oczywiście tylko pomiarów napięć.

Jarosław Doliński, EP
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl

R E K L A M A M A

www.FERYSTER.pl

Najlepsze życzenia świąteczne i noworoczne dla wszystkich kontrahentów

Dyrekcja i pracownicy

INFO@FERYSTER.PL

artronic OPTOELEKTRONIKA

www.artronic.pl

LCD 12x4 RGB LED tech. FSTN extended temperature

LED

!!NOWOŚĆ!!

SONGLE