

Nowoczesne metody pomiaru prądu



W wielu nowoczesnych urządzeniach niezbędny jest pomiar natężenia prądu, co stawia konstruktorów urządzeń przed dylematem wybrania optymalnej metody jego wykonania. W artykule przedstawiamy łatwą w stosowaniu metodę pomiarową, której najważniejszym elementem są nowoczesne, scalone monitory prądu. Do grona producentów takich układów dołączyła niedawno firma Zetex, której fragment oferty przedstawiamy w artykule.

Aplikacje monitorowania prądu możemy podzielić na systemy z zamkniętą i otwartą pętlą, które tylko monitorują lub kompleksowo nadzorują pobór prądu w urządzeniu elektronicznym.

Systemy z otwartą pętlą zawierają tradycyjne elementy, takie jak amperomierze, zasilacze laboratoryjne, zaciski prądowe. Czas odpowiedzi takiego systemu pomiarowego nie jest krytyczny.

Przeciwnieństwem są systemy z zamkniętą pętlą. Zazwyczaj wymagają one błyskawicznej odpowiedzi, gwarantując, że warunki pracy urządzenia są stabilne. Typowy zakres zastosowań rozciąga się od zasilaczy impulsowych do wzmacniaczy RF.

Bezpieczniki elektroniczne są kolejną, nieco wolniejszą od systemów z otwartą pętlą, metodą monitorowania natężenia prądu. Ma ona poważną wadę: zazwyczaj nie ma możliwości zmierzenia natężenia prądu, bezpieczniki zapobiegają jedynie przekroczeniu zadanej wartości progowej. Bezpieczniki elektroniczne znajdują zastosowanie m.in. jako alternatywa magnetycznych i termicznych przerywaczy w obwodzie sterowników silników DC.

Od czego zacząć?

Zazwyczaj pierwszym wyborem, przed którym staje projektant, jest decyzja, w jaki sposób zamienić prąd w proporcjonalne do jego natężenia napięcie, które zostanie dalej wykorzystane przez układ pomiarowy.

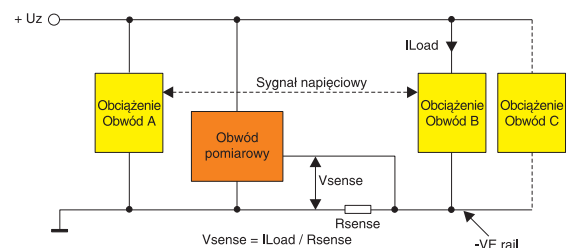
Klasyczne czujniki magnetyczne i magnetorezystancyjne (działające na zasadzie sprzężenia magnetycznego) w naturalny sposób zapewniają izolację galwaniczną obwodów pomiarowego i wyjściowego, a wyjściowy sygnał napięciowy powstaje w rezultacie konwer-

sji wykonywanej za pomocą dodatkowych układów aktywnych. Metody pomiaru prądu z wykorzystaniem czujników magnetycznych są wybierane głównie wtedy, gdy izolacja lub bardzo niskie straty na wejściu są parametrami krytycznymi. Dla takich rozwiązań brytyjska firma Zetex oferuje na przykład serię układów ZMC, zapewniającą izolację napięciową pomiędzy obwodami do 2 kV. Niestety, magnetyczne układy pomiarowe charakteryzują się znaczną nieliniowością i dużym współczynnikiem temperaturowym. W rezultacie, aby uzyskać pomiar z odpowiedzią liniową i wystarczająco dużą dokładnością, konieczne jest zastosowanie dodatkowego niskoomowego rezystora, który musi być włączony szeregowo z czujnikiem magnetycznym wejścia. Dużym problemem jest także ograniczenie mocy odkładanej na rezystorze, zwłaszcza w urządzeniach zasilanych bateryjnie. Rozwiązaniem tych problemów są między innymi wyspecjalizowane układy firmy Zetex, które pracują z napięciami pomiarowymi rzędu 10 mV i oferują dokładność pomiaru na poziomie 2% lub lepiej.

Klasyfikacja układów

Obwody pomiaru prądu możemy podzielić na konfiguracje po stronie „niskiej” (masy) i „wysokiej” (zasilania). Na pierwszy rzut oka zastosowanie obwodów po stronie „niskiej” jest najprostszym rozwiązaniem, ponieważ poziom mierzonych sygnałów jest zbliżony do sygnałów masy. Jedną z popularniejszych metod jest włączenie niewielkiej rezystancji w obwód masy (rys. 1).

Taki układ pomiarowy ma jednak kilka wad. Po pierwsze, ważne jest umiejscowienie obwodów po właściwej stronie rezystora R_{sense} . Obwód C pokazany na rys. 1 wnosi dodatkowy, niepożądany prąd, sumujący się z prądem w obwodzie B. Jeśli jest wymagany pomiar prądu wyłącznie w obwodzie B, wszystkie pozostałe obwody powinny znajdować się sąsiednio względem obwodu A, tak by ich prąd nie przepływał przez rezystor pomiarowy R_{sense} . Dodatkową konsekwencją włączenia rezystancji w linię masy jest spadek napięcia, uwidoczniony na rys. 1 jako $-VE rail$, który zależy od prądu I_{load} . Taka sytuacja jest zazwyczaj nie do zaakceptowania. Ponieważ obwody pomiaru prądu mierzą napięcia o poziomie zaledwie kilkudziesięciu miliwoltów względem masy, zaleta, jaką jest prostota tych obwodów, przestaje być już tak znacząca. Ponadto w niektórych zastosowaniach nie jest możliwa modyfikacja rzeczywistej masy, czy to ze względu na nieakceptowalny spadek napięcia, czy też z innych powodów, związanych z charakterem aplikacji. Na przykład w samochodach, gdzie masa przenoszona jest przez podwozie pojazdu, praktycznie niemożliwe jest wstawienie rezystancji pomiarowej w obwód masy.



Rys. 1

Aby uniknąć takich problemów, stosuje się pomiar prądu po stronie „wysokiej“. W tym przypadku obwody pomiarowe wymagają zwykle napięcia z linii zasilającej, które następnie zostaje odniesione do masy. Jedną z technik, pozwalającą uzyskać takie napięcie, wykorzystuje wzmacniacz różnicowy, połączony z rezystorem pomiarowym jak na rys. 2. Ponieważ dokładność konwersji zależy przede wszystkim od modułu napięcia pomiarowego, wejściowe napięcie wzmacniacza różnicowego jest kluczem do uzyskania minimalnych strat mocy. Rozważając ustalone napięcie pomiarowe wzmacniacza na poziomie 100 mV, możemy uzyskać dokładność pomiaru wynoszącą ok. 1%. Jeśli teraz napięcie pomiarowe zostanie zredukowane do 10 mV w celu ograniczenia strat mocy, można spodziewać się błędów pomiaru prądu na poziomie 10% (rys. 3). Konwencjonalne wzmacniacze operacyjne nie są optymalizowane do pracy z napięciami wspólnymi z linii zasilających, co zachęciło producentów (m.in. firmę Zetex) do wprowadzenia do produkcji wyspecjalizowanych elementów, jak np. układy rodziny ZXCT. Zdecydowanie upraszczają one projektowanie układów pomiarowych, co spowodowało, że pomiar prądu po stronie „wysokiej“ jest realizowany w większości współczesnych aplikacjach (tab. 1).

Projektowanie

Jak wynika z wykresów przedstawionych na rys. 3, ważną jest równowaga pomiędzy stratami na rezystorze a napięciem pomiarowym, niezbędna do uzyskania właściwej dokładności pomiaru. W zasadzie problemy te nie powstają dla prądów poniżej 1 A, ponieważ wtedy typowe napięcie pomiarowe powoduje mniej niż 100 mW mocy strat, co nie stanowi problemu dla większości rezystorów. Sytuacja staje się trudniejsza dla niewielkich napięć pomiarowych i dużych prądów, przy jednoczesnym wymogu lepszej tolerancji w obwodzie konwersji.

Przykład: pomiar prądu o natężeniu 20 A z maksymalną rozpraszaną mocą 500 mW i typową dokładnością 2%.

$$P = I^2 \cdot R_{sense}$$

$$R_{sense} = P/I^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,5/400 = 1,25 \text{ m}\Omega$$

(np. 4 x 5 mΩ połączone równolegle)

$$V_{sense} \text{ przy } 20A:$$

$$V_{sense} = I \cdot R_{sense} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 20 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 25 \text{ mV}$$

W tym przypadku obwód musi mieć typową kompensację napięcia na poziomie 2% z 25 mV => 0,5 mV lub mniej.

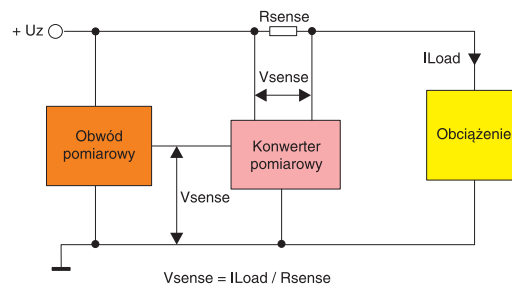
Charakteryzując się dokładnością 2% przy napięciu pomiarowym o wartości 10 mV układy ZXCT1021 i ZXCT1022

spełniają wymagania przedstawione w powyższym przykładzie, pozwalają na ograniczenie rozpraszanej mocy do 200 mW.

Korzyści

Poprzez minimalizowanie grzania się rezystora, ograniczamy jednocześnie obniżenie dokładności pomiarów związane ze współczynnikiem temperaturowym rezystora Rys. 2 pomiarowego. Wiadomo, że rezystancje termiczne rezystorów SMD na płytce drukowanej sięgają mogą 200°C/W, zatem 250 mW rozpraszanej mocy może spowodować wzrost temperatury o 50°C. Dla rezystora o współczynniku temperaturowym 100 ppm/°C, taki wzrost wnosi dodatkowe 0,5% błędów, który powinien być uwzględniony podczas obliczeń wypadkowej tolerancji. Ponadto nie należy lekceważyć zakresu temperatur pracy wytypowanego elementu.

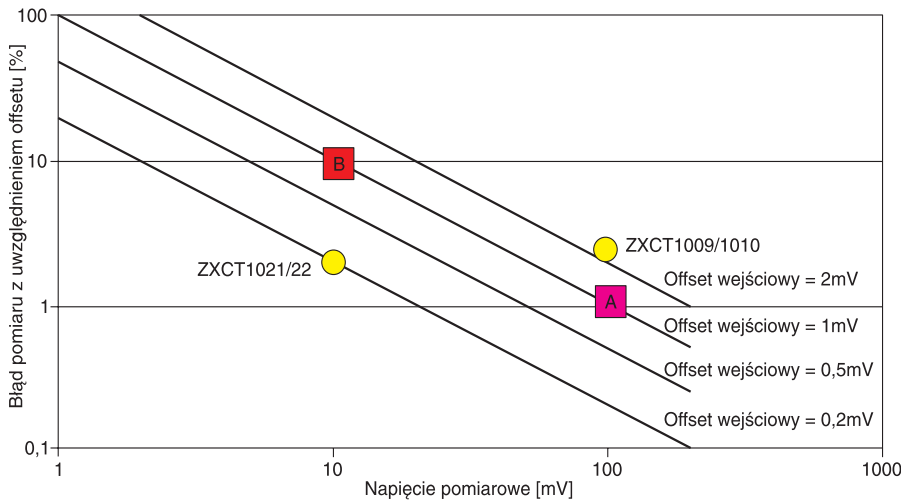
Zwykle projektanci preferują rezystory SMD i stosują drabinki szeregowo lub



równolegle połączonych elementów, na których moc jest równomiernie rozpraszana. Rezystory nawijane posiadają szerszy zakres temperatur pracy, ale zwykle są kiepskim wyborem ze względu na ich większy współczynnik temperaturowy i większą indukcyjność, zniekształcającą sygnały o wysokich częstotliwościach. Najtańszym rozwiązaniem, jeśli dokładność nie jest parametrem krytycznym, jest ścieżka na płytce drukowanej, zastępująca rezystor niskoomowy. Ścieżka przewodząca o grubości 35 μm, szerokości 0,25 mm i długości 25 mm

Tab. 1. Porównanie współczesnych metod pomiaru prądu

Konfiguracja	Zetex Seria ZXCT	Rozwiązania konkurencyjne	Wzmacniacze operacyjne (+ tranzystor)	Funkcja wew- nętrzną układu scalonego	Tranzystor dyskretny
Krótki opis	Specjalizowany US do monitorowania prądu		1 WO sterujący emiterem tranzystora, szeroki pomiar prądu w konfiguracji wzmacniacza różnicowego	Obwód US wbudowany w ASSP	Zwykle 2 dopasowane z 4 zewnętrznymi rezystorami
Liczba elementów/obszar PCB	1 SOT23(5) lub 2 zewnętrzne rezystory	1 SOT23-5 lub MSOP8 lub 2 zewnętrzne rezystory	1 WO, 1 tranzystor 3 do 6 zewn. rezystorów. W zależności od zakresu mierzonego prądu	Brak, albo 1 rezystor	2 SOT23-5 4 rezystory
Łącznie	2 lub 3	1,2 lub 3	5 do 8	0 lub 1	6
Opcje dodatkowe	Unipolarny, komparator	Unipolarny, dwukierunkowy, komparator	Unipolarny	Dowolne	Unipolarny
Koszt	Średni	Wysoki	Średni	Znikomy, uwzględniając prosty pomiar prądu	Niski
Typowa dokładność @100 mV	ZXCT1009/1010 1%	0,5...2%	0,5...4%	0,5...10% (w zależności od projektu i technologii US)	4...10%
Typowa dokładność @10 mV	ZXCT1021/1022 1%				
Zakres temperaturowy	ZXCT1009/1010 Zadowolający	Dobry	Zadowolający do dobrego	W zależności od projektu. Zadowolający do dobrego	Słaby do zadowolającego
Napięcie zasilania [V]	2,5...20	2,7...28 3...36 lub 60V	W zależności od WO typowo 18...36V	W zależności od technologii US	40...100



Rys. 3

ma rezystancję około 150 mΩ. Jednakże trzeba pamiętać, że współczynnik temperaturowy miedzi wynosi +0,39%/°C.

Szybkość działania

Wymagane czasy odpowiedzi obwodów pomiarowych zależą znacząco od aplikacji i wpływają na pobór mocy. Za-

silacze impulsowe, które wykorzystują cykliczne ograniczanie prądu, mogą potrzebować odpowiedzi małosygnałowej w czasach poniżej mikrosekundy. Zasilacze w systemie z zamkniętą pętlą, monitorujące średnie natężenia prądu, będą wymagać odpowiedzi w czasie rzędu 10...100 milisekund.

Szybkość działania obwodu jest zawsze związana z poborem mocy, jako że prąd tracony na pojemnościach pasozytniczych zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości. Ten sam obwód pomiarowy nie jest w stanie jednakowo funkcjonować dla mikroamperowych prądów, jak i posiadać znakomitych osiągnięć dla szybkich przebiegów AC. Dlatego Zetex oferuje gamę układów scalonych do monitorowania prądu, które działają w zakresie napięć od 2,5 do 20 VDC i prądów 4...220 μA. Szerokości pasma zmieniają się od 1 do 10 MHz i możliwy jest wybór wariantu ze wzmocnieniem definiowanym lub ustawionym na stałym poziomie. Elementy dostarczane są w miniaturowych obudowach SMD, jak np. MSOP8, SM8 czy SOT-23, dzięki czemu otrzymujemy tanią alternatywę dla rozwiązań z dyskretnym tranzystorem (tab. 1).

Piotr Kuniniec, Microdis

Opracowano na podstawie materiałów Zetex Plc, której oficjalnym dystrybutorem w Polsce jest Microdis Electronics, tel. (71) 3010400.