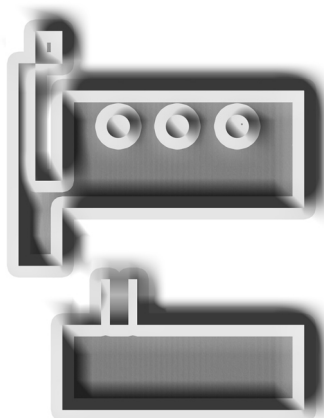


1

To co najważniejsze

Filozofia rozwiązywania problemów



W tym rozdziale pokażę, że znacząca część efektywnego rozwiązywania problemów zależy od sposobu, w jaki myślimy o tym problemie. Następny rozdział będzie poświęcony sprzętowi, który powinniście kupić i zbudować w celu łatwiejszego diagnozowania problemów. W kolejnych rozdziałach zostaną naświetlone pewne bardziej subtelne i trudne do zdefiniowania właściwości elementów pasywnych i aktywnych, płytek drukowanych i łączących je kabli.

Rozwiązywanie problemów staje się łatwiejsze, gdy posługujemy się właściwą filozofią

Jeżeli sobie przypomniecie, że najbardziej nudną lekcją w szkole była filozofia i jeżeli myślicie, że ta książka będzie tak samo nudna – no to się MYLICIE. Będziemy tu mówić, o prawdziwym świecie i przykładach pomyłek, głupich błędów oraz o tym jak wybrnąć z sytuacji, w której błędy się pojawiły. Mówimy o Problemach przez duże „P” i o tym jak ich uniknąć.

Kilka lat temu zdecydowaliśmy, tutaj w National Semiconductor, że powinniśmy napisać książkę o zasilaczach impulsowych. Prawie wszyscy inżynierowie z grup projektowej i aplikacyjnej zgłosili się na ochotnika, żeby napisać po jednym rozdziale; ja zgłosiłem się do napisania rozdziału na temat wykrywania i usuwania usterek. Dzisiaj można stwierdzić, że status książki jest mocno wątpliwy. Jedynie „rozdział o usterekach” ma się dobrze i w Czytelnicy, jako pierwsi możecie czerpać z niego korzyści, jako że ten jeden rozdział rozrósł się do całej, tej właśnie, książki. Mimo, że prawdopodobnie nie jestem najlepszy na świecie jeśli chodzi o naprawianie układów analogowych, to jestem jednak całkiem dobry; w każdym razie jestem tym facetem, który usiadł i przelał swoje historie na papier.

Poza tym, umiejętności niezbędne do usuwania usterek zasilaczy impulsowych, są również – w ogólności – do wykorzystania w wielu innych układach analogowych, a nawet mogą być przydatne w przypadku podstawowych układów cyfrowych. Nie musisz być konstruktorem zasilaczy impulsowych, żeby uznać tę książkę za przydatną; jeśli tylko projektujesz lub montujesz układy analogowe, to ta książka jest dla Ciebie. Być może inżynierowie posiadający szeroką wiedzę o układach cyfrowych, komputerach, mikroprocesorach i oprogramowaniu napiszą kiedyś o usuwaniu usterek w tych układach. Mnie to oczywiście odpowiada, ponieważ z pewnością nie mam zamiaru pisać o tych sprawach! Każdy jest w jakiejś dziedzinie ignorantem – ja właśnie w tej.

Gdyby tylko wszystko zawsze działało poprawnie...

Dlaczego interesuje nas usuwanie usterek? Dlatego, że nawet najlepsi inżynierowie podejmują się wykonywania projektów, tak trudnych i stanowiących tak duże wyzwania, że opracowane układy często nie działają tak jak miały działać – a przynajmniej nie od razu. Nie dysponuję danymi dotyczącymi zasilaczy impulsowych, ale czytałem studium przemysłowe stwierdzające, że podczas produkcji napędów dyskowych, przy pierwszym podłączeniu napięcia zasilającego nie pracuje poprawnie od 20 do 70 procent wyprodukowanej partii. Oczywiście może się sporadycznie zdarzyć, że odsetek wadliwych

napędów maleje do 1%, albo wzrasta do 100%. Ale średnio, inżynierowie i technicy pracujący na produkcji muszą być przygotowani do naprawiania 20, 40 lub 60 procent tych skomplikowanych urządzeń. Zasilacze impulsowe również mogą być całkiem złożone. Jeżeli produkujecie je w partiach po 100 sztuk, to nie powinniście być zdziwieni, że w jednej partii naprawy może wymagać 12 sztuk, a w innej 46. Poszukiwanie usterek w nowych produktach, gdy jeszcze nie są znane ich wady jest, jak sami dobrze wiecie, trudnym zadaniem. Ale to zadanie może być jeszcze trudniejsze wtedy, kiedy projekt jest stary i stosowane w nim aktualnie podzespoły nie są tymi, które były dostępne w czasie jego projektowania. Dodatkowo trudność wyszukiwania usterek rośnie, gdy nie ma pełnej dokumentacji opisującej działanie urządzenia, a jego projektant jest już w firmie niedostępny. A jeżeli zdarzy się przez moment, że wszystko jest w najlepszym porządku, to jest to tylko krótkotrwały cud. Przez chwilę możecie robić uniki przed wyszukiwaniem usterek. I możecie udawać, że wam się to udało.

A co, jeżeli uznacie, że produkt nie ma wad? Załóżmy, że w pierwszej partii wystąpiły tylko trzy lub cztery niesprawne układy, więc przyjęliście, iż nie ma się czym przejmować. W drugiej partii niesprawnych było 12% układów i wszystkie miały te same objawy, co układy wybrakowane z partii pierwszej. W kolejnych trzech partiach braki stanowiły odpowiednio 23%, 49% i 76%. Kiedy wreszcie znajdziecie czas na zbadanie problemu, to okaże się, że jego rozwiązanie byłoby stosunkowo proste gdybyście tylko zaczęli kilka miesięcy wcześniej. Oto jak może zadziałać prawo Murphy'ego¹, jeżeli próbujecie uniknąć odrobienia pracy domowej... wszyscy wiedzieliśmy, że tak będzie.

Jeżeli macie partię układów analogowych, które wymagają naprawy, to dlaczego po prostu nie poszukać odpowiedniej procedury naprawczej w książce? Pytanie jest świetne, a odpowiedź bardzo prosta: jak dotąd w książkach nie znalazłem prawie nic o poszukiwaniu usterek w takich układach. Najlepsze, co do tej pory zostało napisane i co znalazłem, to kilka stron w książce autorstwa Jiriego Dostala [1]. Podaje on podstawowe procedury poszukiwania usterek w dosyć prostym, małym układzie: w stabilizatorze napięcia. W zakresie w jakim je opisał, zrobił to bardzo dobrze. Niestety jest to tylko kilka stron porad; poza tym co jest tam napisane, jest jeszcze wiele do wyjaśnienia².

Inną książką zawierającą kilka dobrych stron o filozofii poszukiwania usterek jest pozycja [2] autorstwa Johna I. Smitha. Smith wyjaśnia, na czym polega słabość życzenia sobie poprawnie zaprojektowanego układu, gdy odkryje się, że to co jest nie działa dobrze. Niestety nakład jest wyczerpany. Firma Analog Devices sprzedaje książkę *Data Converter Handbook* [3], która zawiera kilka stron dobrych pomysłów i porad

¹ W swojej podstawowej postaci prawo Murphy'ego brzmi: Jeżeli coś może się nie udać, to na pewno się nie uda [przyp. tłum.].

² Po tym, jak niedawno ponownie przeczytałem książkę Dostala muszę powiedzieć, że jest to ciągle jedna z najlepszych książek o wzmacniaczach operacyjnych. Jest bardziej kompletna i bardziej techniczna, ale mniej intuicyjna od książki Toma Frederiksena *Intuitive IC Op Amps*. Oczywiście, za 113 USD powinna być dobra. Powoli starzeje się i zaczyna trącić myszka, więc mam nadzieję, że autor myśli o szybkim przygotowaniu nowego unowocześnionego wydania. [Drugie wydanie książki Dostala *Operational Amplifiers* pojawiło się w roku 1993 i jest już wyczerpane. Ostatnio pojawiło się nowe wydanie tej książki, ale w języku oryginalnym, tj. po czesku – przyp. tłum.].

na co zwracać uwagę podczas lokalizacji usterek w przetwornikach (analogowo-cyfrowych i cyfrowo-analogowych) oraz układach analogowych.

Natomiast o czego brakuje, to są informacje ogólne. Kiedy zacząłem pisać o wyszukiwaniu usterek, uświadomiłem sobie, że w tym obszarze jest ogromna próżnia. A więc ją wypełniłem no i mamy tę książkę.

Prawdopodobnie będziecie korzystać z uniwersalnych przyrządów pomiarowych. Jaki sprzęt kupić do wyszukiwania usterek i przeprowadzania napraw? Ten temat omówię szczegółowo w następnym rozdziale. Na razie pozwólcie mi zauważyć, że jeżeli macie naprawiać układy za kilka milionów dolarów, to powinniście rozważyć zakup urządzenia testującego warte go 100 000 USD. Oczywiście za tę cenę dostaniecie urządzenie z dolnej półki. I po zakupie będziecie musieli zainwestować mnóstwo czasu na skonfigurowanie i oprogramowanie tego urządzenia, zanim będzie można z niego skorzystać. Owszem, możecie kupić tester za 90 USD, który pomoże znaleźć zwarcie na płycie drukowanej. Ale w przedziale cenowym między 90 USD i 100 000 USD nie ma wielkiego wyboru jeśli chodzi o specjalizowany sprzęt do lokalizacji usterek. Jeżeli chcecie oscyloskop, to musicie kupić oscyloskop uniwersalny; jeżeli chcecie woltomierz cyfrowy, to będzie to uniwersalny woltomierz cyfrowy. Obecnie prawdą jest, że niektóre woltomierze i oscyloskopy lepiej nadają się do lokalizacji problemów niż inne (przedyskutuję to dokładniej w następnym rozdziale), jednak, w większości wypadków, musicie polegać na własnym rozsądku.

Własny rozsądek: bardzo poręczny w użyciu, własny rozsądek – i co dalej? Jeden z moich ulubionych cytatów z książki Jiriego Dostala mówi, że poszukiwanie usterek powinno przypominać szermierkę, a nie zapasy. Kiedy wasza walka o rozwiązanie problemu jest jak zapasy w błocie z zaciekłym oponentem (lub komponentem), to prawdopodobnie nie stosujecie właściwej metody. Czy macie właściwe narzędzia i czy stosujecie je właściwie? Przedyskutuję to w następnym rozdziale. Czy wiecie, jak uszkodzony element będzie wpływał na działanie waszego układu i czy wiecie jakie uszkodzenia są najczęstsze? O elementach będę pisał w kolejnych rozdziałach. A, no i czy wiecie jak myśleć o PROBLEMIE? To jest podstawowe zadanie tego rozdziału.

Nawet to, co nie może nawalić, nawala. Jedną z pierwszych czynności jakie moglibyście wykonać jest stworzenie listy wszystkiego, co może stworzyć problem. Do pewnego stopnia jest to dobry pomysł. Jestem wielbicielem opowiadań o silnikach parowych i przytoczę tu jedną historię z książki *Master Builders of Steam* [4]. Brytyjski konstruktor W. A. Stanier zaprojektował właśnie nowy, 3-cylindrowy parowóz typu 4-6-0 (cztery małe kółka prowadzące przed kołami napędowymi, 6 kół napędowych, bez małych kółek tylnych), który okazał się być „... perfekcyjną zagwozdką. Po prostu w ogóle nie działał”. Konstruktorzy parowozu zrobili zatem listę wszystkiego, co mogło stwarzać problem oraz listę tego wszystkiego, co z całą pewnością było sprawne. Tę drugą listę odłożyli na bok.

Konstruktorzy wyspecyfikowali zmiany, jakie miały być wykonane w każdym nowym parowozie w nadziei, że rozwiążą one problem: „Początkowe problemy wywołują przeciwdziałania tak, że w każdym parowozie wykonano inny zestaw modyfikacji”. Kierownicy produkcji „dostawali dreszczy na widok wypływającego od kreślarzy strumienia rysunków z poprawkami, które bezustannie zakłócały postęp w pracach”. (Niezła zabawa dla chłopaków z produkcji, no nie?). W końcu, znaleziono rozwią-

zanie, ale dopiero po długim czasie, ponieważ okazało się, że był to problem z listy „tego co nie może nawalić”.

Pozwólcie mi zacytować rozkosznie szokujące słowa z tej książki: „Początkowe problemy zawsze wywołują dwie trudności: często wskazówki są bardzo subiektywne oraz różne »oszustwa« działają. Ta druga trudność to sytuacja, w której jakiś czynnik jest (na podstawie mocnych przesłanek) oczyszczony z zarzutów o powodowanie kłopotów. Wszyscy gdzie indziej szukają źródła problemu, podczas gdy faktycznie przesłanka nie jest mocna i to ten »niewinny« czynnik jest winowajcą. W przypadku Staniera tym czynnikiem było niskie ciepło przegrzania. Był on tak przekonany, że niskie ciepło przegrzania odpowiadało potrzebom, że ważne zmiany związane ze zwiększeniem powierzchni przegrzewacza wprowadzono dużo za późno. W dziale badawczym zakładu znajdowało się w owym czasie kilku rozsądnych ludzi, ale ponieważ byli młodzi, więc nie liczone się z ich zdaniem. Nie uwierzono w wyniki starannie przeprowadzonych przez nich testów przegrzewacza.” Ale oczywiście nic takiego nie zdarzyło się nigdy nikomu kogo znacie – prawda?

Eksperci nie mają monopolu na dobre rady

Możecie również pytać o radę, ale wyłącznie „ekspertów”. W końcu tylko eksperci wiedzą jak rozwiązać trudny problem – prawda? Nieprawda! Czasami głównym powodem tego, że nie możecie znaleźć rozwiązania jest to, że znajdujecie się za blisko problemu – jesteście osłepieni swoją znajomością rzeczy. Możecie osiągać znakomite wyniki po prostu konsultując się z jednym lub dwoma kolegami, którzy nie są zaznajomieni z waszym projektem; mogą mieć dobre pomysły jak rozwiązać trudności. Często technik potrafi zasugerować (może dzięki szczęściu) dobrą radę z taką łatwością jak zmyślny inżynier. Kiedy to nastąpi zapamiętajcie, kto wam uratował głowę. Niektórzy ludzie nie są zwykłymi „szczęściarzami” – mają talent do rozwiązywania trudnych problemów, znajdowania tropów i wydedukowania, co powoduje kłopot. Tacy przyjaciele są cenniejsi od złota.

W National Semiconductor zwykle przekazujemy kolegom do sprawdzenia nowo zaprojektowany *layout* układu. Ja zapraszam wszystkich do wygrania dowolnie wybranego napoju w nagrodę za znalezienie prawdziwego błędu w moim układzie. Nazywamy to „testem piwnym”. Jest to frajda, bo za kilka browarów mam skorygowane durne błędy – błędy, które sam mógłbym znaleźć dużo później i byłyby wówczas bardziej bolesne i bardziej kosztowne. Poza tym wszyscy się czegoś uczymy. I nigdy nie można przewidzieć, kto znajdzie małą upierdliwą pomyłkę lub rzadki prawdziwy błąd-zabójcę. Zapraszam wszystkich techników i inżynierów.

Nauczcie się rozpoznawać tropy

Gdy zabieramy się za ustalanie usterek w czymś projekcie (układzie), powinniśmy zadać cztery pytania:

- Czy w ogóle kiedyś działał poprawnie?
- Jakie symptomy wskazują na to, że nie działa poprawnie?
- Kiedy zaczął działać błędnie lub przestał działać?
- Jakie inne symptomy wystąpiły tuż przed, tuż po lub w trakcie awarii?

Wyraźnie widać, że wskazówki jakie uzyskacie z odpowiedzi na te pytania mogą łatwo doprowadzić do natychmiastowego rozwiązania problemu; a nawet jeśli nie, to ostatecznie pozwolą wyjść na prostą. I jeśli nawet usterka występuje w waszym własnym projekcie, to powinniście zadać te cztery pytania – tak wyraźnie, jak to jest tylko możliwe – sobie, swojemu technikowi lub komukolwiek, kto pracował przy tym projekcie. Na przykład, jeżeli wasz współlokator zadzwoni z prośbą o podwiezienie, ponieważ jego samochód właśnie wysiadł na środku autostrady, to powinniście zapytać, czy coś jeszcze się wydarzyło, czy auto po prostu zdechło. Jeżeli wam odpowie, że światła paliły się słabiej i słabiej, to jest to trop.

Zadawajcie pytania, róbcie notatki, rejestrujcie poziom dziwności

Jeśli zadacie te cztery pytania, to pamiętajcie, aby zanotować odpowiedzi, najlepiej w notatniku. Jako doświadczony szef działu testów pracowałem z Tomem Milliganem, który powtarzał technikom: „Jeżeli wykonujecie pomiary i widzicie coś dziwnego, to rejestrujcie POZIOM DZIWNOCI. Była to tak znamienita rada, że nazwaliśmy ją „prawem Milligana”. Kilka istotnych zapisków może zaoszczędzić godziny pracy. Tropy są tam, gdzie je znajdziecie; powinny zostać zachowane i docenione.



Fot. 1.1. Pomoc kolegów jest często skutecznym sposobem wyciskania problemów z projektu. Na zdjęciu, autor dostaje za swoje od kolegów, którzy dostrzegli problem, ponieważ nie byli tak dobrze zaznajomieni z layoutem układu jak on. (Zdjęcie: Steve Allen)

Zadawajcie nie tylko te cztery pytania, ale również inne wynikające z udzielonych odpowiedzi. Przykładowo, niedoświadczony inżynier produktu przychodzi do mnie z partią układów scalonych, które mają tragiczny uzysk w pewnym szczególnym teście. Pytam, czy te układy nie przeszły jakiś innych testów i w odpowiedzi słyszę, że nie wiadomo, ponieważ tester nie kontynuuje już pomiarów układu po tym, jak wykryje błąd. Bardziej doświadczony inżynier wykonałby już ponowne testy układów w trybie „WYKONAJ WSZYSTKIE TESTY” i tak właśnie poradziłem neoficie.

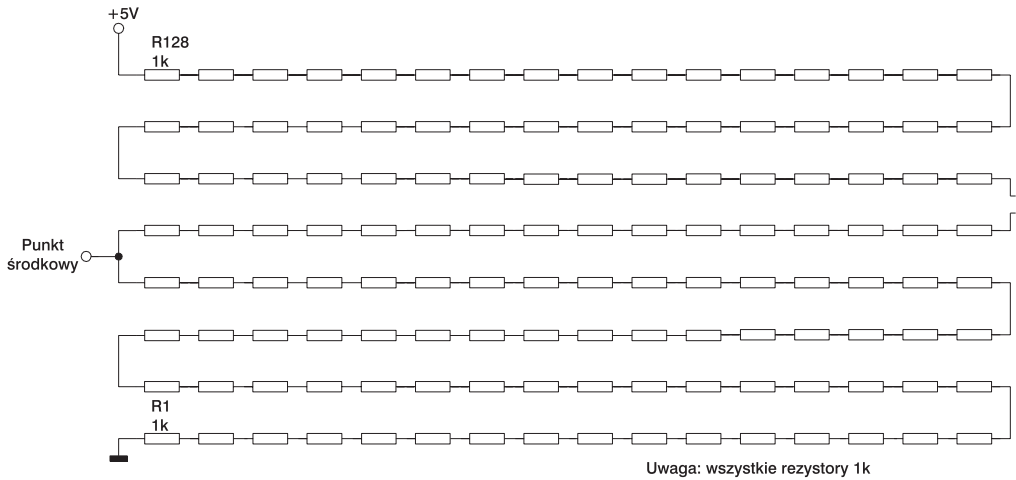
Podobnie, jeżeli wy prosicie kogoś o radę, to powinniście mieć uporządkowane wszystkie fakty, przynajmniej w głowie, tak aby zrelacjonować sprawę jasno bez zagmatwania. Pracowałem z ludźmi, którzy mówili mi coś, a po minucie twierdzili coś wręcz przeciwnego. Nic nie powoduje u mnie szybszej utraty panowania nad sobą! Nikt wam skutecznie nie pomoże w znalezieniu usterki, jeżeli nie jesteście pewni, czy układ jest zasilany napięciem +12 V czy ± 12 V i zaczynacie wygłaszać sprzeczne stwierdzenia.

A jeśli pytam, kiedy układ zaczął źle pracować, to nie mówcie mi „o 3:25 po południu”. Ja szukam tropów takich, jak „około dwóch minut po tym, jak go włożyłem do pieca o temperaturze 125°C” lub „zaraz po tym jak podłączyłem obciążenie 4 Ω ”. Tak więc wraz z uczeniem się usuwania usterek, uczymy się również znajdowania tropów, które są bezcenne w diagnozowaniu uszkodzeń.

Metodyczny i logiczny plan ułatwia usuwanie usterek

Nawet prosty problem dotyczący dzielnika rezystancyjnego może dać okazję do stworzenia inteligentnego planu poszukiwania usterki. Załóżmy, że mamy połączonych szeregowo 128 rezystorów, każdy o rezystancji 1 k Ω (rys. 1.2). Jeżeli do górnego końca zostanie przyłożone napięcie +5 V, a do dolnego 0 V, to spodziewamy się, że potencjał punktu środkowego będzie wynosić 2,5 V. Jeżeli nie byłoby to 2,5 V ale 0 V, to rozpoczęlibyście poszukiwanie usterki sprawdzając napięcia w punkcie podłączenia każdego rezystora „idąc od góry do dołu”. Ale taka strategia to absurd! Sprawdźmy napięcie w punkcie podłączenia rezystora – powiedzmy – R96, który jest w połowie „drogi” między punktem środkowym i szczytem. Następnie, w zależności od tego, czy to napięcie jest za wysokie, za niskie czy sensowne zmierzmy napięcie w punkcie podłączenia R112 lub R80, tj. w 5/8 lub 7/8 całego szeregu – następnie na R120 lub R104 lub R88 lub R72, dokonując wyboru w rodzaju binarnego poszukiwania – taka metoda jest dużo bardziej skuteczna. Zaledwie kilka prób (około 7) pozwoli zlokalizować uszkodzony rezystor rozwarty lub zwarty do masy. Tego typu poszukiwanie wymaga dużo mniej prób niż 64 pomiary konieczne przy testowaniu każdego punktu wzdłuż szeregu rezystorów.

Pójdźmy dalej, jeśli zdechnie wam wyjście układu ze wzmacniaczem operacyjnym, to zwykle sprawdzacie wzmacniacz operacyjny, rezystory lub połączenia. Normalnie nie będziecie sprawdzać kondensatorów, jeśli nie zgadniecie, że to zwarty kondensator może powodować błąd na wyjściu. Odwrotnie, gdy napięcie wyjściowe wzmacniacza operacyjnego V_{OUT} jest obciążone błędem kilkudziesięciu mV, to prawdopodobnie zaczniecie sprawdzać tolerancje rezystorów. Możecie nie poszukiwać rozwartego lub o złej wartości kondensatora, o ile nie sprawdzicie wyjścia układu oscyloskopem i nie odkryjecie oscylacji. Tak więc w każdym układzie musicie analizować informa-



Rys. 1.2. Jeżeli wykryjecie, że potencjał punktu środkowego wynosi nie 2,5 V ale 0 V, to jak będziecie poszukiwać usterek w tym układzie? Jak będziecie szukać zwarcia lub rozwarcia?

cje – wasze tropy – dopóki nie doprowadzą was do ostatecznego testu, który odsłoni prawdziwą przyczynę problemu.

Tak więc, zawsze najpierw powinniście sformułować hipotezę, a następnie wynaleźć sensowny test lub serię testów, których wykonanie pozwoli zawęzić obszar poszukiwania tego co jest złe i ewentualnie wzmocni waszą hipotezę. Te testy powinny być możliwe do wykonania. Ale może się zdarzyć, że zdefiniujecie test, który okaże się niemożliwy lub bardzo trudny do wykonania. Ja wtedy często myślę: „Dobra, gdybym mógł wykonać ten test, to otrzymałbym odpowiedź »dobrze« lub »złe«. OK, ale wykonanie testu nie jest łatwe. Ale jeżeli założę, że otrzymałbym jedną z tych dwóch odpowiedzi, to co musiałbym zrobić dalej, aby ustalić rozwiązanie? Czy mogę przeskoczyć do następnego testu?”

Na przykład, jeżeli muszę zbadać pierwszą warstwę metalu układu scalonego z dwoma warstwami metalu (ponieważ zaniedbałem wyprowadzenie ważnego węzła pierwszej warstwy na poziom drugiej warstwy), to mogę w zastępstwie wykonać kilka innych testów. Mogę wykonać te inne testy z nadzieją, że nie będę potrzebował przeprowadzić badania pierwszej warstwy metalu, które jest nieporęczne nawet jeżeli „pożyczyć” laser do przedostania się przez wszystkie warstwy tlenku. Jeśli mi się poszczęści, to nie będę się musiał już cofać i wykonywać tego „trudnego, prawie niemożliwego do przeprowadzenia” testu.

Oczywiście, czasami rzeczywisty wynik testu to odpowiedź, w którą absolutnie nie da się uwierzyć, zupełnie niepodobna do tej, jakiej się spodziewałem. Muszę więc ponownie się zastanowić – w którym miejscu moje założenia były złe? Czy mój sposób myślenia był błędny? Albo, czy wykonałem moje pomiary poprawnie? Czy dane przedstawione przez technika są prawdziwe? Oto dlaczego poszukiwanie usterek jest tak ambitnym zadaniem – prawie nigdy nudnym.

Z drugiej strony głupotą jest zaplanować wszystko i nie wykonać ani jednego testu. Jeśli tak się stanie, to będzie oznaczać, że zaplanowaliście procedury, które już w wy-

niku szybkiego sprawdzenia okazały się niepotrzebne. Nazywają to „porażenie przez analizę”. Ponieważ wszystkie czynniki są jednakowo ważne, więc się spodziewam, że planowanie i testowanie wymagają takiego samego czasu. Jeżeli testy są bardzo skomplikowane i drogie, to planowanie powinno być odpowiednio wszechstronne. Jeżeli testy są proste, tak jak w przypadku 128 rezystorów połączonych szeregowo, to możecie je wykonać z marszu. Na przykład podana lista rezystorów R80, R112, R120, R104 R88 lub R72 wynika z nominalnych wyborów binarnych. Nie musicie jednak badać dokładnie tych miejsc – wystarczy, że wykonacie wyszukanie w przybliżeniu binarne.

Niech prawo Murphy’ego pracuje dla was

Jest duża szansa na to, że prawo Murphy’ego zaatakuje nawet nasze najlepsze projekty. Ale ja mogę sprawić, żeby prawo Murphy’ego pracowało dla mnie: „Jeżeli coś może się nie udać, to na pewno się nie uda”. Na przykład, jeżeli jeżdżę samochodem z gaśnicą, jeżeli jestem przygotowany do gaszenia dowolnego pożaru, to czy – zgodnie z prawem Murphy’ego – uchroni mnie to przed pożarem w aucie? Ta myśl usłyszana po raz pierwszy brzmi głupawo. Ale, jeżeli jestem typem osoby drobiazgowej poruszającej się z gaśnicą, to mogę być również stanny i nie wykonywać głupot mogących wywołać pożar.

Podobnie, podczas projektowania układu pozostawiam sobie margines bezpieczeństwa w obszarach, w których nie mogę przewidzieć do końca zachowania układu. Kiedy projektuję układ prototypowy, to często mówię technikowi: „W tej sekcji zostaw 20% dodatkowej wolnej przestrzeni, ponieważ nie jestem pewien, czy układ będzie pracował bez modyfikacji i – proszę – zostaw trochę wolnego miejsca wokół tego rezystora i tego kondensatora, bo być może, będę musiał zmienić te wartości”. Kiedy projektuję układ scalony, to pozostawiam małe placki metalu w strategicznych punktach powierzchni chipa tak, że mogę z łatwością sondować krytyczne węzły. Aby umożliwić sondowanie w przypadku dwóch warstw metalu, wyciągam węzły pierwszej warstwy za pomocą przelotek (*via*) do drugiej warstwy metalu. Czasami pozostawiam otwory w pasywacyjnej warstwie tlenku, co umożliwi sondowanie struktury. Temat testowalności jest często poruszany w przypadku dużych układów cyfrowych, jednak stosowana tam zasada „projektuj tak, by można było testować” jest istotna niezależnie od typu projektowanego układu. Możecie uniknąć wielu kłopotów myśląc o tym, co może działać nie tak jak trzeba i jak się przed tym uchronić, zanim jeszcze wynikłe z tego problemy zaatakują was. Przygotowując się na każdą ewentualność, możecie osiągać zyski ze swojej świadomości praw Murphy’ego. Oczywiście nie można przewidzieć każdej ewentualności. (Pamiętajcie, że w lokomotywach Staniera kłopoty zostały spowodowane tym, co nie mogło spowodować kłopotów). Ale odrobina przezorności może z pewnością zminimalizować liczbę problemów z którymi będziecie mieli do czynienia.

Rozważcie powołanie Cara dla pewnej grupy problemów

Kilka lat temu mieliśmy w Nationalu tak dużo dręczących małych problemów z układami źródeł napięcia odniesienia typu „band-gap”, że postanowiłem (jednostronnie) mianować się „Carem Źródeł Band-Gap”. Główne zasady polegały na

tym, że wszystkie działające układy „band-gap” musiały być przez Cara rejestrowane, tak aby dysponować rejestrem poprawnie działających źródeł. Wszystkie układy niedziałające, przyczyny dlaczego nie działają i metody usuwania usterek również powinny być przez Cara rejestrowane tak, aby unikać powtarzania starych błędów. Każdy nowy układ powinien być przekazany do Cara w celu wykrycia starych błędów. Uważamy, że do tej pory udało nam się wychwycić i usunąć ponad 50% możliwych błędów zanim jeszcze układ został wykonany w krzemie i to są nasze korzyści. Dodatkowo powołaliśmy Cara dla układów startu i dla układów trzymowania oraz Carycę dla zmian w kartach katalogowych; rozważamy także rozszerzenie caratu. Jest w tym trochę gry, ale jest to również poważna sprawa wykorzystywać grę w celu uniknięcia kosztownych błędów.

Zawsze byłem dobry w usuwaniu usterek, ale „chrzest bojowy” przeszedłem kilka lat temu. Zaprojektowałem serię modularnych przetworników danych. Mieliśmy wysłać do klienta 525 sztuk i jakaś durna osoba zakupiła tylko 535 płytek drukowanych. Kiedy okazało się, że poprawnie działa mniej niż połowa układów, wtedy zostałem wciągnięty w sprawy napraw, ponieważ nikt inny nie miał pojęcia jak to zrobić. Okazało się, że potrzebny był mi do tego mój najlepszy oscyloskop i mój najlepszy woltomierz cyfrowy. Pracowałem do późna w nocy. Miałem po kilka kopii schematu i projektu płytki. Notowałem na nich, jakie powinny być wartości napięć stałych, jak powinny wyglądać prawidłowe przebiegi i gdzie najlepiej mierzyć kluczowe sygnały. Zrobiłem krótką listę typu: „jeżeli częstotliwość jest dwukrotnie większa niż normalna, to sprawdź czy tranzystor Q17 jest uszkodzony, ale jeżeli częstotliwość jest niska, to szukaj zwarcia na magistrali B”.

Nauczyłem się, gdzie szukać zwarć powstających podczas lutowania, mikroskopijnych przerw, zimnych lutów i przerywających się okresowo połączeń. Diagnozowałem problemy i odsyłałem każdy moduł do naprawy z porządnym opisem, co w nim zmienić. A kiedy powracały, to czy działały? Niektóre tak, a niektóre ciągle miały kolejny poziom lub dwa problemów. Jest to „syndrom cebuli”: zdejmujecie jedną warstwę i płaciecie, zdejmujecie drugą i płaciecie jeszcze bardziej. W końcu naprawiłem wszystkie moduły z wyjątkiem czterech i stałem się piekielnie dobrze wyedukowany w ustalaniu usterek.

Co robiłem, jak już znalazłem miejsce sprawiające kłopoty? Po pierwsze robiłem notatki, aby się upewnić, że problem został rzeczywiście rozwiązany po wymianie sprawiającej kłopot części. Następnie wysyłałem moduł do dobrego, solidnego technika, który dokonywał precyzyjnej naprawy – robił to dużo lepiej niż wykonałby to taki niechluj jak ja. Następnie wysyłałem notki służbowe do działów produkcyjnego i kontroli jakości, aby uzyskać gwarancję, że typy elementów sprawiających kłopot nie będą nigdy więcej używane oraz potwierdzałem zmiany w dziale dokumentacji. Ważne jest, aby sumiennie i dobrze wykonać robotę papierkową; w przeciwnym razie kłopoty powrócą i będą was znowu dręczyć.

Z niedbałą dokumentacją można źle skończyć

Słyszałem raz o podobnej sytuacji, kiedy to podstępny problem spowodował paskudne kłopoty z niezawodnością pewnej partii modułów. Technik przez kilka dni walczył w poszukiwaniu rozwiązania. W końcu, kiedy wybrał się na lunch pojawił

się konstruktor, aby się zmierzyć z problemem. Gdy technik powrócił z lunchu, inżynier powiedział mu „Rozwiązałem problem; wynikał z niedopasowania Q17 i R18. Napisz wniosek o zmianę w dokumentacji, a kiedy wrócę z lunchu, to go podpiszę”. Niestety dobre porozumienie między inżynierem i technikiem załamało się; nie zrozumieli się dobrze. Zdezorientowany technik napisał wniosek, ale niewłaściwie określił zmiany. Kiedy inżynier wrócił z lunchu, faktycznie bez czytania parafował wniosek i pojechał na dwutygodniowy urlop.

Kiedy powrócił z urlopu, wszystkie moduły były „naprawione”, szczelnie obudowane i wysłane, no i natychmiast po zainstalowaniu zaczęły się psuć. Sprawdzenie wniosku o zmianę w dokumentacji ujawniło pomyłkę – za późno. Firma zbankrutowała. Jest to historia prawdziwa i przykra. Nie pozwalajcie sobie na niechlujstwo w dokumentacji; nie pozwólcie, aby wam się to przytrafiło.

Analiza uszkodzeń

Jednym z powodów, dla którego zajmujecie się ustalaniem usterek jest to, że wymagają od was wykonywania analizy uszkodzeń. Jest to po prostu inny rodzaj pracy papierkowej. Pisanie raportów nie zawsze jest przyjemne, ale czasami pomaga rozjaśnić i uporządkować własne rozumienie problemu. Być może, gdyby klient zażądał od mojego przyjaciela inżyniera dokładnego opisu co się stało i jakie ma w związku z tym propozycje, to ta katastrofa by się nie zdarzyła. Ja zwykle gryzmolę szybki raport. Kopię dostaje często mój szef, ponieważ jest ciekawy dlaczego zajęło mi to tyle czasu. Zwykle daję kopie kolegom, którzy pracują nad podobnymi projektami. Czasami zawieszam kopię na ścianie, żeby ostrzec **wszystkich** kolegów. Bywa, że przesyłam kopię do producenta podzespołu, którego dotyczą uwagi. Jeśli właściwie się porozumiewacie, to możecie próbować unikać podobnych problemów w przyszłości.

Są jeszcze inne rzeczy, które **wy** możecie zrobić w trakcie **swoich** badań. Jeżeli znajdziecie uszkodzony element, to nie wyrzucajcie go po prostu do kosza na śmieci. Czasami ludzie dzwonią do mnie i mówią: „Wasze układy scalone sprawiały mi przez pewien czas kłopoty”. Wtedy pytam, „Czy możecie mi przysłać trochę tych rzekomo złych części”. A oni odpowiadają „No nie, zawsze wyrzucamy je do śmieci...” Proszę, nie róbcie tego, ponieważ często możliwość ustalenia uszkodzenia podzespołu zależy od posiadania kilku egzemplarzy do badań. Czasami wynikiem takich badań jest „NTF” – „No Trouble Found” (nie znaleziono uszkodzenia). Przeważnie tak się zdarza. A więc jeżeli mi mówicie „Słuchaj Pease, twoje marne wzmacniacze operacyjne padają w moim układzie”, a faktycznie nie dzieje się nic złego ze wzmacniaczami, a jest to w rzeczywistości problem złej aplikacji – nie mogę wam wiele pomóc, jeżeli części wylądowały w koszu. Proszę, zachowujcie je, przynajmniej na trochę. No i oznaczcie je.

Inną rzeczą jaką możecie zrobić z tym uszkodzonymi elementami, to otworzyć je i zobaczyć, co się da zobaczyć. Czasami w przypadku układu scalonego w obudowie metalowej, po kilku minutach pracy piłą do metalu, wszystko staje się jasne jak słońce. Na przykład, wasz technik mówi „Ten wzmacniacz operacyjny sam się uszkodził, ja tylko siedziałem tutaj i się przyglądałem, nic więcej”. A gdy zajrzycie do środka, to widzicie, że jeden z drutów łączących wejście z chipem przepalił się

i wyparował, a w układzie aplikacyjnym do tego punktu jest podłączony tylko rezystor 10 kΩ. Nie sposób przepalić drut łączący prądem mniejszym niż 300 mA. Coś musiało wyróżnić w końcówkę wejściową układu scalonego i zewrzeć ją do źródła o wydajności co najmniej pół ampera. W wielu przypadkach zajrzenie do środka podzespołu jest bardzo pouczające. Kiedy nawali kondensator lub rezystor nastawny, wtedy biorę młotek, szczypce, obcinaczki, piłkę do metalu i zaglądam do środka, żeby zobaczyć jak ładnie (lub brzydko) element został wykonany. Sprawdzam, czy jestem w stanie dostrzec uszkodzenie lub kiepską konstrukcję. Jestem po prostu ciekawy. Ale czasami dużo się uczę.

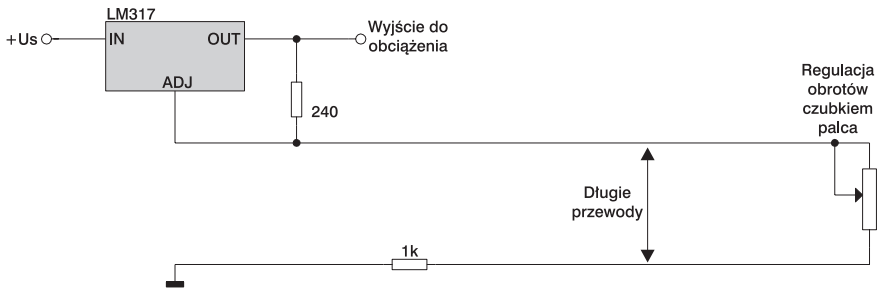
Teraz, gdy już zakończyłem oględziny i ciągle jestem wściekły jak diabli, bo straciłem mnóstwo czasu oszukany przez uszkodzony element – co robię? Zwykle WIDLARYZUJĘ go i to mi trochę poprawia humor. Jak się coś WIDLARYZUJE? Bierzecie to i kładzicie na kowadełku imadła, a następnie walicie młotkiem aż zostanie skruszone na małe kawałki. Tak małe, że nie musicie ich nawet zmiatać z podłogi. To z pewnością poprawia humor. No i macie pewność, że ten element nie będzie was już dręczył w przyszłości. To nie jest żart. Czasami gdy macie uszkodzony potencjometr lub kondensator i odłożycie je na bok, to po kilku miesiącach znajdziecie je zamontowane w waszym nowym układzie i znów będziecie tracić przez nie czas. Kiedy natomiast już coś ZWIDLARYZUJECIE, to taka sytuacja nie zdarzy się. A facetem, który mi pokazał jak to się robi, był nieżyjący już Bob Widlar¹.

Wykrywanie usterek przez telefon – trudne wyzwanie

Obecnie udzielam wiele porad dotyczących różnych problemów przez telefon. Kiedy odzywa się mój telefon, to nigdy nie wiem czy klient będzie prosił o udzielenie prostej informacji, czy zada typowe pytanie dotyczące aplikacji, czy też pytanie będzie dotyczyło trudnego, bądź nawet nierozwiązywalnego problemu. Często mogę udzielić porady na poczekaniu, ponieważ wiem, jak naprawić to co nie działa. Czasami muszę przez chwilę pomyśleć zanim oddzwonię. Innym razem układ jest tak złożony, że proszę klienta o przesłanie mi schematu. Wyjątkowo, problem bywa tak trudny do analizy, że proszę o włożenie obwodu wraz ze schematami i listą objawów do pudełka i przesłanie mi tej paczki. Albo, jeżeli gość pracuje niedaleko, to wpadam do niego po drodze do domu, aby się zapoznać z rzeczywistą sytuacją.

Czasami problem wynika z błędnej aplikacji. Czasami element jest przepalony i muszę zgadywać co spowodowało przeciążenie. Podam przykład: w czerwcu producent sprzętu stomatologicznego reklamował nieakceptowalnie wysoką częstość uszkodzeń stabilizatora LM317. Po dłuższej dyskusji zapytałem: „Gdzie występują te awarie?” Odpowiedź: „W Północnej Dakocie.” „Kiedy się rozpoczęły?” Odpowiedź: „W lutym.” Dodałem dwa do dwóch i uświadomiłem sobie, że klimat w Północnej Dakocie w lutym jest tak suchy, że bardziej już nie może i sprzyja powstawaniu bardzo wysokich potencjałów elektrostatycznych. LM317 jest normalnie odporny na wyładowania elektrostatyczne (ESD – *electrostatic discharge*) do 3...4 kV, ale przejście po dywanie w Północnej Dakocie w lutym może wytworzyć

¹ Robert Widlar, zmarły 12 lutego 1991 roku w wieku 53 lat, jest powszechnie uznawany za ojca scalonych wzmacniaczy operacyjnych. Miał również duży wpływ na rozwój techniki projektowania analogowych układów scalonych [przyp. tłum.].

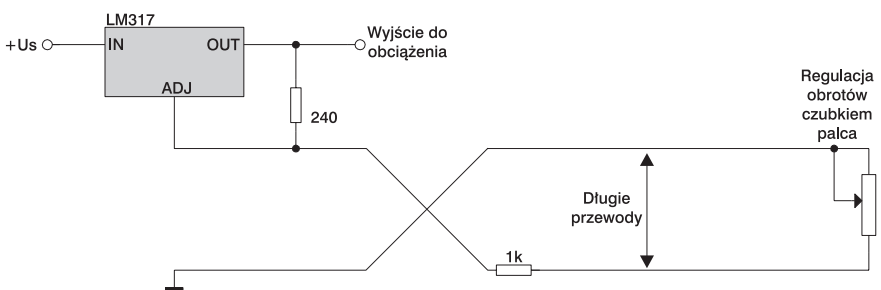


Rys. 1.3. Kiedy przejdziecie przez suchy dywan i sięgniecie po regulator obrotów, spowodujecie powstanie łuku i większość prądu z suwaka potencjometru popłynie prosto do końcówki ADJ układu LM317

dużo wyższe napięcia. Co gorsza, rezystor nastawny (reostat) do regulacji obrotów tej maszyny dentystycznej był umieszczony w ręczce. Suwak i jeden z końców rezystora były bezpośrednio podłączone do końcówki ADJUST (ADJ) stabilizatora LM317; drugi koniec potencjometru był połączony z masą poprzez rezystor 1 kΩ umieszczony w głównej obudowie (rys. 1.3). Reostat regulujący obroty był po prostu podłączony za pomocą przewodów, które działały jak piorunochron przewodzący energię ESD prosto do końcówki ADJUST.

Ten problem dał się łatwo rozwiązać przez podłączenie rezystora szeregowego do końcówki ADJUST układu scalonego. Dzięki zamianie przewodów i włączeniu reostatu tak, że suwak znalazł się na potencjale masy (rys. 1.4) dużo mniejszy prąd dopłyne do końcówki ADJUST i rezystor dyfuzyjny znajdujący się na chipie nie zostanie uszkodzony lub wypalony prądami udarowymi. Oczywiście dołożenie małego kondensatora między końcówkę ADJ i masę również by pomogło, ale wielu klientów uważa, że łatwiej jest przełączyć istniejący element niż dołączyć nowy.

Podobna sytuacja może mieć miejsce, gdy dostaniecie reklamację z Bostonu w czerwcu: „Wasz wzmacniacz operacyjny nie trzyma parametrów dotyczących prądu polaryzacji.” Rozwiązanie jest nadzwyczaj proste: zwykle dobre przemyć wodą z mydłem działa lepiej niż jakikolwiek rozpuszczalnik, usuwając resztki zanieczyszczeń wywołujących upływ w warunkach dużej wilgotności (np. ślady palców...). Zajrzyjcie do



Rys. 1.4. Poprzez jedynie przełączenie dwóch przewodów, wyładowanie elektrostatyczne trafia do masy i jest nieszkodliwe

notek w rozdziale 5, o tym jak zmywarka do naczyń może wyczyścić płytkę drukowaną z upływami – lub brudną, z upływami obudowę układu scalonego.

Uważajcie kiedy komputery zastępują ludzi

Teraz się zastanówmy co wymaga napraw? Układy? Telewizory? Samochody¹? Ludzie? Z pewnością lekarze mają sporo roboty z wyszukiwaniem usterek – wsłuchują się w objawy i próbują wskazać rozwiązanie. Jaka jest naturalna pokusa? Pozwolić komputerowi zrobić całą robotę? W sumie komputer jest całkiem niezły w wysłuchiwanie narzekań i objawów, zadawaniu mądrych pytań i proponowaniu mądrych diagnoz. Taki system komputerowy jest czasem nazywany Systemem Ekspertowym i stanowi część ogólnej dziedziny zwanej Sztuczną Inteligencją. Ale ja ciągle jestem zwolennikiem PRAWDZIWEJ INTELIGENCJI. I odwrotnie, ludzie którzy polegają na Sztucznej Inteligencji umieją rozwiązać pewną grupę problemów, ale nie mogą być pewni, czy są w stanie obsłużyć każdy rodzaj Prawdziwej Głupoty, jak również Sztucznej Głupoty. (Jest to gatunek wymyślony specjalnie po to, by udowodnić jak wspaniale działa Sztuczna Inteligencja).

Nie będę się spierał, że komputer nie jest naturalnie stworzony do takiej pracy; jest prawdopodobnie ekonomiczny i nie bywa roztargniony. Ale jestem zdecydowanie zaniepokojony ponieważ, jeśli komputery wykonają całą rutynową pracę, to wkrótce nie będzie nikogo zdolnego do myślenia w sytuacji, gdy komputer podda się i ogłosi, że nie zna odpowiedzi. Mocno wierzę, że nie dopuścimy do sytuacji, w której komputery pozostawią inteligentnych ludzi umiejących rozwiązywać problemy bez pracy, niezależnie od tego czy obiektem jest układ elektroniczny czy człowiek.

Moje zaniepokojenie dzieli dr Nicholas Lembo autor studium na temat, jak lekarze stawiają diagnozę, opublikowanych w New England Journal of Medicine. Ostatnio wypowiedział się dla Los Angeles Times: „Wraz z nadejściem tych wszystkich nowych technik, lekarze nie są już wcale zainteresowani (bezpośrednim kontaktem z chorym) ponieważ za 300 do 400 dolarów mogą wykonać testy, które powiedzą im to, co mogliby sami wysłuchać.” Artykuł redakcyjny towarzyszący studium zawierał smutny komentarz: „Aktualny trend... może nas wkrótce postawić w obliczu generacji młodych lekarzy pozbawionych zaufania we własne umiejętności stawiania wartej wysiłku diagnozy przy łóżku chorego.” Umiejętność znajdowania usterek jest nadal sztuką i ważne jest, aby popierać tych artystów.

Komputer jest waszym pomocnikiem... i przyjacielem...???

W San Francisco Chronicle [5] przeczytałem o przypadku zainstalowania przez SAS, skandynawskie linie lotnicze, systemu ekspertowego dla mechaników: „Kierownictwo zorientowało się, że coś jest nie w porządku, gdy zaczęła spadać jakość pracy. Okazało się, że system był tak wysoko zmechanizowany, że mechanicy nigdy nie kwestionowali jego poprawności. Zatem zaangażowano mechaników w jego przeprojektowanie. Mogli podejmować więcej decyzji warsztatowych i uży-

¹ Jeżeli nie sądzicie, że naprawa samochodów może być rozrywką, to posłuchajcie audycji radiowej „Car Talk” (Auto Rozmowy) Toma i Raya Magliozzich. Spytajcie w swojej lokalnej stacji National Public Radio jaki jest czas nadawania... DOBRA RZECZ!

ZIGGY®



ZIGGY Copyright 1988 Ziggy & Friends/Dist. by Universal Press Syndicate. All rights reserved.

– Muszę tutaj jeszcze wykonać kilka testów, ale jestem prawie pewien, że to jest albo aligator, albo krokodyl.

wali komputera do potwierdzania tych decyzji, przez co zwiększyła się wydajność pracy zmniejszyła liczba pomyłek. »Komputer nigdy nie może przejąć wszystkiego« powiedział jeden z mechaników. Teraz, kiedy więcej zależy ode mnie, (moja praca) jest bardziej interesująca.» Cóż mogę dodać? Bądźcie wnikliwi. Uważajcie zanim coś przekażecie komputerom.

Nic się nie dzieje?? Nic się nie dzieje... no to tylko poczekajcie...

Teraz skoczmy trochę do przodu i załóżmy, że mamy wszystkie niezbędne narzędzia oraz właściwą pozytywną postawę. Czego jeszcze potrzebujemy? Co jest ostatnim brakującym składnikiem? Przypomina mi to pewną dziewczynkę w szkółce niedzielnej, którą zapytano, co należy zrobić, aby uzyskać odpuszczenie grzechów. Mała wstydliwie odpowiedziała „po pierwsze trzeba grzeszyć”. Tak więc aby móc usuwać problemy, to najpierw trzeba je mieć. Ale z tym zwykle nie ma problemu; poczekajcie kilka godzin, a będziecie ich mieli pełno. Z prawa Murphy’ego wynika, że o ile nie jesteście przygotowani na kłopoty, to będziecie ich mieli dużo. I odwrotnie, jak odrobiliście dobrze swoją pracę domową, to możecie uniknąć większości możliwych kłopotów.

Próbowałem przedstawić wam filozofię poszukiwania usterek. Nie wiercie jednak w to, że uzyskacie pomoc dotyczącą danego problemu od jednej, konkretnej osoby. W żadnym szczególnym przypadku nie jesteście w stanie przewidzieć, kto może dostarczyć rozwiązanie. No i odwrotnie, jeżeli wasz kumpel znajduje się w kłopotcie i potrzebuje pomocy, spróbujcie – możecie wyjść na bohatera. I nawet jeżeli nie odgadniecie właściwie, to kiedy już znajdziecie rozwiązanie będziecie mogli wzbogacić **swoje** doświadczenie o nowy chwyt.

Jeżeli macie problem do rozwiązania, to próbujcie myśleć o właściwym planie zaatakowania go i ostatecznego określenia. Jeżeli są to problemy typu „pojawia się i znika” – a te są najbardziej wredne – to nawet dla nich mamy pewną radę. (Jest sprytnie ukryta w rozdziale 12). Jeśli więc odrobicie swoje „zadanie domowe z filozofii”, to być może życie będzie dla was łatwiejsze i lepsze. Będziecie zdolni nie tylko do rozwiązywania problemów, ale nawet do ich unikania. Dla mnie bomba!

Literatura

1. Dostal, Jiri, *Operational Amplifiers*, Elsevier Scientific, The Netherlands, 1981; także Elsevier Scientific, Inc., 655 Avenue of the Americas, NY, NY 10010, (212) 989-5800 (\$113 w 1990 r.).
2. Smith, John I., *Modern Operational Circuit Design*, John Wiley & Son, New York, NY, 1971.
3. *Data Converter Handbook*, Analog Devices Corp., P.O.Box 9106, Norwood MA 02062, 1984.
4. Bulleid, H. A. V., *Master Builders of Steam*, Ian Allan Ltd., London, UK, 1963, pp. 146-147.
5. Caruso, Denise, *Technology designed by its users*, The San Francisco Examiner, str. E-15, Sunday, March 18, 1990.