

SEMINARIUM Z FILOZOFII NAUKI (26-11-2015, WAI NS PW)

Jarosław Sokołowski

„Elektroniczne układy analogowe. Aspekty techniczne i filozoficzne”

Przedmiotem referatu były elektroniczne **techniki analogowe**, które polegają na przetwarzaniu ciągłych sygnałów elektrycznych (kodujących dane) za pomocą wyspecjalizowanych układów elektronicznych, obejmujących m.in. wzmacniacze operacyjne, komparatory i sumatory.

Elektroniczne układy analogowe (EUA) należy odróżnić od układów cyfrowych, ponieważ te drugie służą do przetwarzania sygnałów nieciągłych (np. binarnych); są też w zupełnie inny sposób programowane.

W trakcie referatu i dyskusji omówione zostały następujące zagadnienia (niektóre z nich zostały postawione przez słuchaczy)

1. Układy EUA zaistniały w latach 40-tych XX-wieku; wcześniej jednak konstruowano analogowe układy mechaniczne, służące np. do rozwiązywania układów równań (dość powszechnie używano też rozmaitych przyrządów analogowych, jak np. suwak logarytmiczny).

Pierwsze zaawansowane EUA służyły do rozwiązywania i analizowania rozwiązań pewnych typów równań różniczkowych; stąd nazywano je **analizatorami różniczkowymi**.

2. Również współcześnie układy EUA służą do rozwiązywania typowych **zagadnień analitycznych** jak np. znajdowanie pierwiastków równań nieliniowych (i ich układów), wyznaczanie całek czy rozwiązywanie i analizowanie układów równań różniczkowych (poprzez całkowanie).

Wspomniane zagadnienia należą wprawdzie do matematyki, ale po odpowiednim zinterpretowaniu mogą stanowić ważny element rozmaitych poza-matematycznych zastosowań (związanych np. ze sterowaniem silnikami).

3. Z punktu widzenia inżynierii (techniki) każdy układ EUA składa się ze skończonej liczby połączonych ze sobą **elementów podstawowych**.

Są to: wzmacniacz operacyjny, komparator, sumator i integrator. Elementem najbardziej podstawowym – w tym sensie, że każdy inny element zawiera go jako swój podukład – jest **wzmacniacz operacyjny**, służący do wzmacniania sygnału wejściowego w pożądanym stopniu.

Specyfikacja powyższa (tj. określenie podstawowych elementów EUA) pozostaje zgodna z teoretycznym modelem C. Shannona z roku 1941, tzw. **modelem GPAC** (*General Purpose Analog Computer*), w którym określono matematyczne „minimum” przetwarzania analogowego: mnożenie funkcji przez stałą, dodawanie stałej, dodawanie funkcji, całkowanie funkcji.

4. **Analogowość** układów EUA polega przede wszystkim na tym, że mogą one przetwarzać oraz generować **sygnały ciągłe**. W opisie matematycznym są to funkcje ciągłe (np.

sinusoidalne) lub liczby rzeczywiste (które można uznać za szczególny przypadek funkcji, czyli funkcje stałe).

Fakt ten odróżnia EUA od układów cyfrowych, które pracują na sygnałach dyskretnych (kodujących rozróżnialne symbole).

5. Mówiąc ogólnie, opisywane w referacie układy **działają** następująco: na wejście EUA (wejście to jeden lub więcej elementów) jest podawana w sposób ciągły, w czasie rzeczywistym, pewna **funkcja** (np. sinusoidalna); przetwarzane w sposób ciągły wartości tejże funkcji trafiają do kolejnych elementów EUA (niekiedy w sposób równoległy), gdzie są modyfikowane; na wyjściu jest generowany sukcesywnie, również w czasie rzeczywistym, funkcyjny wynik (np. wyniki całkowania kolejnych „fragmentów” funkcji wejściowej).

Użytkownik EUA może dowolnej chwili dokonać **pomiaru** sygnału wyjściowego i uzyskać interesujący go pojedynczy wynik (np. wynik całki); może też obserwować generowane funkcje (np. na ekranie) i interpretować je na bieżąco jako wyniki (np. funkcje będące rozwiązaniem równania różniczkowego).

6. „**Programowanie**” układów EUA (lepiej chyba mówić o projektowaniu) polega na odpowiednim łączeniu dowolnej liczby dowolnie wybranych elementów podstawowych (jak sumator czy komparator). „Programem” realizującym określoną funkcję jest zatem fizyczna struktura układu.

Jest to kolejna różnica między EUA i komputerami cyfrowymi – w przypadku których programy mogą być (i zazwyczaj są) dostarczane „z zewnątrz”, zaś fizyczna struktura komputera ma zapewnić ich bezbłędną realizację (można ją nazwać czymś w rodzaju „meta-kompilatora”).

7. Z uwagi na punkt 6 zachodzi ważne metodologiczne (i zarazem filozoficzne) pytanie o to, czy układy EUA można nazwać komputerami – komputerami w sensie maszyn **uniwersalnych**, pracujących na wymiennym oprogramowaniu.

Układy te pozwalają wprawdzie realizować te same funkcje co układy cyfrowe (a nawet więcej; ze względu na bogatszy zbiór możliwych do przetworzenia i wygenerowania sygnałów, tj. zbiór mocy continuum), mimo to dla każdej funkcji, lub grupy funkcji, trzeba konstruować **osobny układ fizyczny**.

8. Wyłania się też kolejne pytanie.

Czy w dziedzinie wszelkich możliwych EUA pewnego typu (np. takich, które są zgodne z modelem Shannona), istnieje „minimalny” **układ uniwersalny Un-EUA**: to znaczy taki układ, który otrzymawszy na wejściu sygnał odpowiadający jednoznacznie dowolnemu EUA (realizującemu konkretną funkcję) oraz sygnałowi wejściowemu tego EUA byłby w stanie symulować działanie tego EUA dla tego właśnie sygnału wejściowego.

Innymi słowy: dla każdego możliwego EUA i każdego jego możliwych danych wejściowych, uniwersalny układ Un-EUA generowałby takie same wyniki jak określony EUA.

9. Gdyby uniwersalny układ analogowy Un-EUA istniał (choćby w teorii), to byłby on analogowym odpowiednikiem **uniwersalnej maszyny Turinga**, która stanowi matematyczny opis uniwersalnego komputera cyfrowego (w praktyce zatem: jest zdolna symulować

wszelkie maszyny cyfrowe, pod warunkiem dostarczenia ich opisu i ich danych wejściowych).

Przybliżoną realizację fizyczną takiego Un-EUA można by nazwać **uniwersalnym komputerem analogowym**. Jego program, czyli odpowiednia struktura fizyczna, umożliwiłaby odpowiednią realizację programów dostarczanych z zewnątrz, dostarczanych jako odpowiednie sygnały wejściowe (fizycznie: generatory takich sygnałów).

Pozostaje nierozstrzygnięte podczas seminarium pytanie:

Czy w teorii obliczeń analogowych przedstawiono jakikolwiek opis Un-EUA (model GPAC nie jest chyba takim opisem, nie przewiduje bowiem wymiennego oprogramowania), a jeśli przedstawiono, to czy jest on realizowalny fizycznie?

Powyższe subiektywne podsumowanie sporządził
Paweł Stacewicz