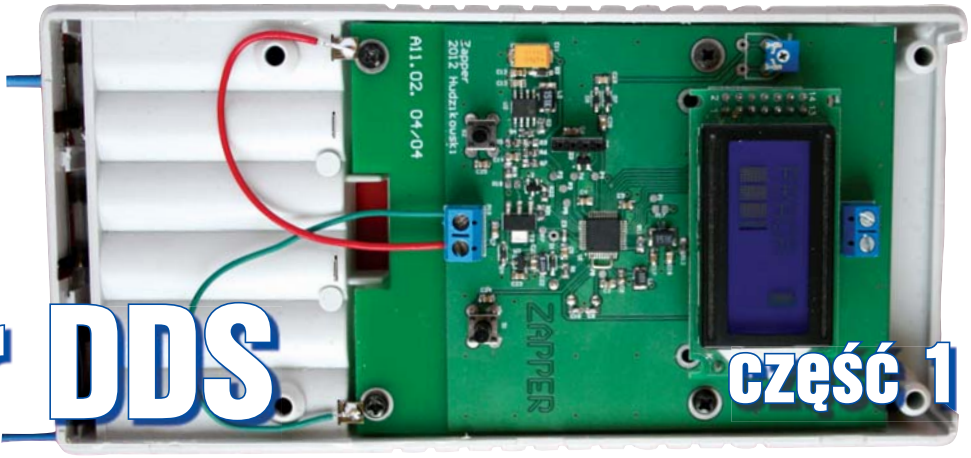
kit 3100 AVT

Zapper DDS część 1



Artykuł obejmuje dwa gorące tematy:

1. **Przydatność przebiegów elektrycznych do poprawy samopoczucia i zdrowia. Na wstępie przedstawiony jest zarys historii „terapeutycznych generatorów" wraz z prostymi przykładami ich realizacji.**
2. **Realizację przestrajanego generatora „sinusa" za pomocą DDS, ale bez specjalizowanych układów, wyłącznie z wykorzystaniem procesora. Ten aspekt artykułu powinien zainteresować każdego elektronika, który choćby trochę interesuje się techniką DDS.**

Uwaga! Prezentowane urządzenie nie jest wyrobem medycznym! Jest to zasilany z baterii, programowalny generator przebiegów zmiennych o bezpiecznym napięciu wyjściowym, nieprzekraczającym 16V wartości skutecznej. Generator może być wykorzystany do sprawdzenia, czy i na ile prawdziwe są opinie o pozytywnym wpływie zmiennych przebiegów elektrycznych na samopoczucie i zdrowie.

W żadnym wypadku nie należy stosować takiego generatora *zamiast*, a co najwyżej jako eksperymentalne *wspomaganie* terapii medycyny klasycznej.

Projekt **Zapper DDS** powstał w związku z rosnącą popularnością tej gałęzi medycyny alternatywnej, która do walki o zdrowie człowieka wykorzystuje prąd elektryczny, a konkretnie przebiegi zmienne o częstotliwościach od pojedynczych herców do ponad 1MHz. Prądy o różnych częstotliwościach wykorzystuje się także w medycynie klasycznej, jednak dzisiejsza popularność różnych odmian zapperów związana jest głównie z treścią książki *Kuracja życia*, napisanej przez dr Huldę Clark. Z treści tej książki wynika, że pani Clark w roku 1988 zaczęła eksperymentować z przebiegami zmiennymi, najpierw o częstotliwości 1000Hz, potem o częstotliwościach coraz wyższych. Jak pisze, stwierdziła występowanie rezonansu. Dotyczyło to zarówno ciała ludzkiego, jak też pasożytów, bakterii, wirusów, pleśni, a nawet toksyn. Wszystkie miały charakterystyczne częstotliwości rezonansowe.

Zadała też sobie pytanie o skutki poddania takich niepożądanych gości ludzkiego organizmu działaniu prądu elektrycznego o ich charakterystycznych częstotliwościach rezonansowych. Jak pisze, eksperymentalnie stwierdziła (z salmonellą, glistą i wirusem opryszczki), że już po kilkuminutowej terapii ich rezonans nie występuje, co uznała za dowód wytępienia ich z organizmu.

Książka *Kuracja życia* jest bez problemu dostępna w Internecie, między innymi bezpłatnie pod adresem:
http://pl.scribd.com/doc/109748348/Clark-Hulda-Regehr-Kuracja--%C5%BCycia-metod%C4%85-dr-Clark

Autor przedmowy do polskiego wydania napisał w niej między innymi: *(...) W samej książce znajdują się stwierdzenia, które mogą wzbudzić wątpliwość czytającego ją lekarza. (...) Nie istnieją, niestety, żadne znane mi prace naukowe, które weryfikowałyby słuszność prezentowanych tu założeń. (...) Tobie, czyli P.T. Czytelnikowi, pozostawiam zatem ocenę tego, co znajdziesz w książce pani Clark.*

W książce znajdują się stwierdzenia, które wzbudzają wątpliwość nie tylko lekarzy, ale też choćby średnio zaawansowanych elektroników. Dotyczy to choćby (lakonicznego) opisu eksperymentów z wykorzystaniem generatorów przebiegów, stwierdzeń dotyczących rezonansu, wpływu cewek, znaczenia ekranowania, składowej stałej przebiegu zmiennego, czy harmonicznych przebiegu prostokątnego.

W Internecie można bez problemu znaleźć miażdżącą krytykę zarówno książki *Kuracja życia*, wniosków i zaleceń Huldy Clark, jak też na przykład informacje, że tytuł doktora zdobyła nie na regularnych studiach medycznych, tylko na 100-godzinnym kursie, kosztującym 695 dolarów.

Z drugiej strony w sieci można znaleźć mnóstwo entuzjastycznych recenzji tego rodzaju przyrządów i terapii. Niewątpliwie znaczna część z nich jest pisana przez osoby, które mają interes finansowy w upowszechnianiu takich przyrządów. A ceny takich urządzeń są wysokie, niektórych wręcz niebotyczne. Dotyczy to zwłaszcza tych najprostszych zapperów, gdzie hurtowy koszt podzespołów elektronicznych jest rzędu 1...2zł (tak!), natomiast ceny gotowych urządzeń, często w eleganckich walizkach, z wymyślnymi elektrodami, to co najmniej kilkaset złotych.

Jednak nie wszystkie pozytywne opinie o zapperach pochodzą od cynicznych oszustów. Nie ulega wątpliwości, że istnieje mnóstwo osób, które są święcie przekonane, że im zappery pomogły lub stale pomagają. I tu osobom o racjonalnym podejściu od razu nasuwają się na myśl dwie możliwości:

1. Być może zappery nie mają żadnego technicznie wykrywalnego wpływu ani na człowieka, ani na żadne robaki, pasożyty, bakterie, itp., ale za to bardzo skutecznie odgrywają rolę placebo. Jak wiadomo, placebo często okazuje się równie efektywne jak starannie zbadane lekarstwo. Co ciekawe, istnieją badania wskazujące, iż placebo droższe jest skuteczniejsze niż placebo tanie...

Zgadzałoby się to z uznawanym powszechnie poglądem, że celem różnych terapii jest nie tyle bezpośrednia walka z chorobą, co zmobilizowanie organizmu człowieka do walki z tą chorobą i że ogromne znaczenie ma w tym psychika. Lekarze poświadczają, jak ogromne znaczenie w procesie leczenia wielu chorób ma motywacja, wola walki i wiara pacjenta. Być może skuteczność zapperów polega właśnie na tym, że używające ich osoby wierzą w ich moc, a to znakomicie mobilizuje siły organizmu do walki, także z dolegliwościami uznawanymi za nieuleczalne. Ale istnieje też inna możliwość.

2. Być może niewielkie napięcia i prądy zmienne o różnych częstotliwościach mają obiektywny pozytywny wpływ na organizm człowieka, tylko zagadnienia te nie są jeszcze zbadane. Dzisiejsza oficjalna medycyna opiera się na lekach chemicznych – na farmaceutykach. Niekoniecznie trzeba być zwolennikiem teorii spiskowych, głoszących iż *mafia farmaceutyczna dławi wszelkie inne konkurencyjne metody leczenia z nienasyconej żądzy zysku*. Prawda może być inna: organizm człowieka to twór nieprawdopodobnie skomplikowany i pomimo ogromnego postępu nauki, nasza wiedza o nim jest nadal jedynie fragmentaryczna. Nadal oficjalna nauka nie zbadała i nie zaprzeczyła podstawom i teoriom medycyny chińskiej, w której ogromną rolę przypisuje się przepływom energii w ciele ludzkim. Innym mniej trafnym, ale bardziej znanym przykładem jest homeopatia, potępiana w czambuł przez wielu, wysławiana za skuteczność przez wielu innych. Być może terapia prądami zmiennymi też ma obiektywną wartość, tylko na razie są to zagadnienia niezbadane, a teorie pani Clark budzą więcej wątpliwości, niż wyjaśniają.

Niezależnie od tego, jaka jest prawda o zapperach, istnieje mnóstwo szczerych osób, święcie przekonanych o ich skuteczności w walce z najrozmaitszymi dolegliwościami. Mnóstwo innych gotowych jest wypróbować ich skuteczność.

Niniejszy artykuł daje taką możliwość. Przedstawia kilka propozycji, począwszy od zapperów najprostszych, aż do Zappera DDS o ogromnych możliwościach. Wszystkie opisywane w artykule urządzenia są bezpieczne z punktu widzenia współczesnych przepisów. Są zasilane z baterii. Wytwarzane przez nie napięcia (kilka do maksimum kilkunastu woltów) oraz prądy (zwykle o wartości poniżej 1mA) nie niosą zagrożenia dla organizmu człowieka.

W obszernej książce *Kuracja życia*, Hulda Clark twierdzi, że takie niewielkie zmienne przebiegi elektryczne mają zbawienny wpływ na zdrowie człowieka, ponieważ potrafią wyeliminować z jego organizmu liczne pasożyty, w tym płazińce i obleńce (przywry, tasiemce, glisty, owsiki, włosienie), najróżniejsze bakterie i wirusy oraz toksyny. Co istotne (i kontrowersyjne) mają też być co najmniej pomocne w leczeniu różnych odmian raka i innych poważnych chorób. Według jej twierdzeń, można wykorzystywać przebiegi o częstotliwościach od 10Hz do około 1MHz (ale nie więcej niż do 1,52MHz).

Autorka zestawiła obszerne tabele częstotliwości rezonansowych mnóstwa pasożytów, bakterii i wirusów (są dostępne we wspomnianej książce). Stwierdziła jednak, że częstotliwości rezonansowe poszczególnych pasożytów mogą się zmieniać z upływem czasu. W książce są też doniesienia o wykorzystaniu generatora płynnie przestrajanego w różnych zakresach częstotliwości. Powolne, płynne przestrajanie ma likwidować zarazki w całym zakresie przemiatanych częstotliwości.

Jednocześnie autorka uznała, że bardzo dobry efekt można uzyskać, wykorzystując tylko jedną, stosunkowo niską częstotliwość 20...40kHz, gdy przebieg wyjściowy ma kształt prostokątny i zawiera składową stałą. W swojej książce proponuje budowę zappera – przyrządu do niszczenia pasożytów z organizmu. Jak pisze, terminem *zappowanie* określa poddawanie zarazków działaniu prądu elektrycznego o określonej częstotliwości, przy czym nazwa pochodzi od slangowego określenia *zap* – „zaatakować, zabić, zniszczyć". Zapper i idea Huldy Clark z końca XX wieku nie są pierwszym przykładem zastosowania prądu elektrycznego do poprawy samopoczucia i zdrowia.

Inne przyrządy

Od początków wieku XIX, gdy zaczęto stopniowo poznawać elektryczność, podjęto też próby wykorzystania jej do najróżniejszych celów. Także do szeroko pojętych celów medycznych. W większości były to jednak eksperymenty z prądem stałym. Okrycie i praktyczne wykorzystanie na przełomie XIX i XX wieku najpierw prądu zmiennego, potem prądów zmiennych o wysokiej częstotliwości i fal radiowych wywołało pytania, czy można je wykorzystywać do leczenia. Przeprowadzano różnorodne eksperymenty. Podobno Antonio Meucci, który skonstruował telefon znacznie wcześniej, niż opatentował go Graham Bell, wpadł na pomysł telefonu właśnie podczas eksperymentów terapeutycznych z użyciem prądu. Podobno medycznymi aspektami swoich wynalazków, związanymi z przebiegami zmiennymi i transformatorem, nazwanym od jego nazwiska, zajmował się też słynny Nikola Tesla, co jest bardzo prawdopodobne (z drugiej strony propagowany przez Teslę prąd zmienny uznawany był za zabójczy przez jego adwersarza, Edisona). W tamtych czasach rodziły się wielkie odkrycia i eksperymentowano ze wszystkim, co miało związek z prądem elektrycznym i falami radiowymi. Wiele mówiło się też o magnetyzmie i wykorzystywaniu do leczenia pól magnetycznych.

Wiele z ówczesnych badań skończyło się fiaskiem, niemniej do dziś szeroko wykorzystujemy w medycynie fale elektromagnetyczne, jak choćby promienie Roentgena, głównie do diagnostyki, ale także inne rodzaje promieniowania elektromagnetycznego do terapii. W medycynie, głównie w rehabilitacji, ale też np w psychoterapeutycznych elektrowstrząsach oraz w kosmetyce wykorzystuje się też działanie na organizm ludzki prądu elektrycznego, zarówno stałego, jak i przebiegów o różnych częstotliwościach.

Do dziś mówi się też o twierdzeniach pewnego kontrowersyjnego naukowca, który wniósł wkład w rozwój mikroskopii: Royal Raymond Rife (1888–1971) od lat 30. XX wieku propagował teorię, że wirusy i bakterie mają swoje częstotliwości rezonansowe i że zabija je użycie fal elektromagnetycznych o tych częstotliwościach (MOR – Mortal Oscillation Rate). Twierdził, że potrafi leczyć raka, co do którego pochodzenia miał zresztą swoją teorię, która została odrzucona przez współczesną medycynę. Jego pierwotne badania dotyczyły też światła widzialnego i UV, czyli fal elektromagnetycznych o bardzo wysokich częstotliwościach (setek teraherców). Budował generatory i lampy, mające według niego lecznicze właściwości. Problem w tym, że jego laboratorium z przyrządami i zapiskami autorskimi spłonęło. Zaginęła dokumentacja, a potem autor zajmował się innymi problemami, następnie zmarł.

Dziś nie są znane szczegóły budowy jego przyrządów, ale w literaturze i na rynku pojawiają się urządzenia, oznaczane jego nazwiskiem. Nie sposób sprawdzić, na ile są one w budowie i działaniu podobne do zniszczonych oryginałów, w szczególności dotyczy to częstotliwości pracy i modulacji. Generalnie mówi się o EMEM (*electro-magnetic experimental machine*) i różnych generatorach Rife'a, a także o lampach Rife'a (znane też jako lampy plazmowe Rifa, Rife beam-ray).

W latach 90. XX wieku James Bare przedstawił urządzenia, które miały być efektem jego analizy dostępnych materiałów Rife'a. Dziś można kupić rozmaite przyrządy reklamowane jako aparaty Rife lub Rife-Bare. Niektóre są jedynie prostymi generatorami przebiegów prostokątnych o różnych częstotliwościach. W Internecie można bez trudu znaleźć tabele częstotliwości, które podobno związane są z określonymi pasożytami czy chorobami. W większości przyrządy takie są nieco bardziej złożonymi generatorami z modulacją. Zazwyczaj częstotliwość nośna, rzędu kilku megaherców, jest modulowana amplitudowo przebiegiem o częstotliwości akustycznej. Często ta częstotliwość modulująca m.cz. jest płynnie przestrajana (sweep) w pewnych zakresach.

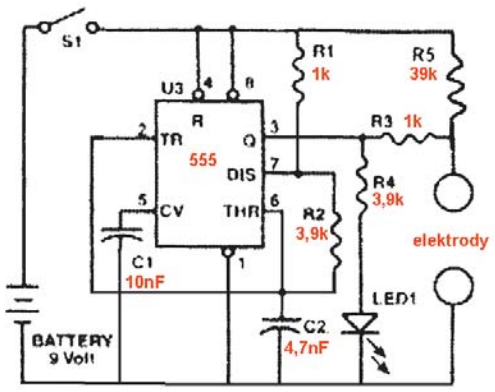
Dostępne są też lampy (Rife beam-ray).

Wrażenie robi nazwa źródła stosowanego tam światła – *plasma lamp*, czyli *lampa plazmowa*. Jednak nazwę tę należałoby przetłumaczyć raczej jako *lampa wyładowcza*. Chodzi o dość dużych rozmiarów lampę neonową, wypełnioną jednym z gazów szlachetnych. Co istotne, w lampie Rife'a taka duża neonówka nie jest zasilana prądem stałym, tylko przebiegiem wysokiej częstotliwości, modulowanym amplitudowo przebiegiem m.cz. W praktyce, do realizacji takich egzotycznych konstrukcji wykorzystuje się... radia CB lub nadajniki krótkofalowe, pracujące w niższych zakresach częstotliwości.

Trzeba też wspomnieć o generatorach Roberta Becka, znanych też jako *Dr Bob Beck blood purifier* lub *Bob Beck Black Box*. Te „oczyszczacze krwi" i (jednocześnie wytwornice koloidalnego srebra) to proste generatory par impulsów prostokątnych o przeciwnej biegunowości. Zasadniczo ich konstruktor stwierdził, że częstotliwość powtarzania impulsów powinna być równa połowie tzw. częstotliwości Schumanna (podstawowa częstotliwość rezonansu Schumanna to około 7,83Hz i ma związek z rezonansem fal elektromagnetycznych między powierzchnią Ziemi a jonosferą – było o tym wspomniane w artykule o odbiornikach ELF-VLF, który ukazał się w EdW 3 i 4/2013). Połowa częstotliwości fundamentalnego rezonansu Schumanna to około 3,92Hz, jednak Beck twierdził, iż podobne działanie mają impulsy o częstotliwościach 0,67...4Hz. Dziś spotyka się też generatory Becka o częstotliwościach do 40Hz, a nawet więcej. O ile jednak w zapperach i innych generatorach amplituda jest rzędu 10V, w generatorze Becka amplituda ma wynosić 24...30V, co przy symetrycznych impulsach daje 48...60V międzyszczytowo. Przyrządy te zasilane są zwykle z małych baterii, więc choć zasadniczo napięcie przy nieobciążonym wyjściu jest stosunkowo duże, jednak wydajność prądowa jest mała, prądy nie przekraczają 0,1mA, a urządzenia są bezpieczne. W większości takich przyrządów impulsy są skracane i ich napięcie skuteczne jest małe, poniżej 10V.

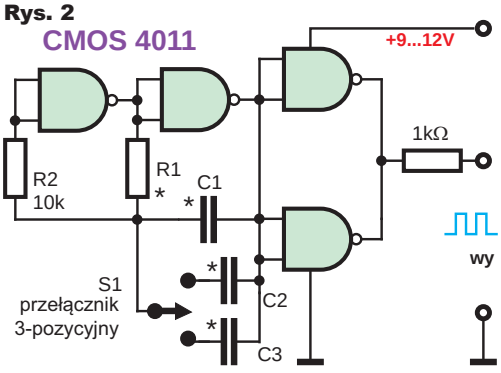
Proste realizacje

Schemat „ulepszonej" wersji zappera Huldy Clark pokazany jest na **rysunku 1** (pierwotna wersja nie zawierała rezystora R5). Autorka proponuje budowę takiego przyrządu bez użycia lutownicy, gdzie podstawą montażu jest... pokrywa pudełka po butach! W roli elektrod można wykorzystać jakiekolwiek przedmioty metalowe, na przykład dwa odcinki miedzianych czy mosiężnych rurek. Rurki te podczas pracy przyrządu



Rys. 1

Rys. 2



należy trzymać w rękach – wtedy między rękami przez ciało popłynie niewielki prąd zmienny jednokierunkowy. Można też podłączyć do każdego zacisku dwie elektrody. Wtedy jedną parę trzeba trzymać w rękach, a drugim zapewnić kontakt ze stopami (np. włożyć do skarpetek) – prąd popłynie przez ciało między rękami i nogami.

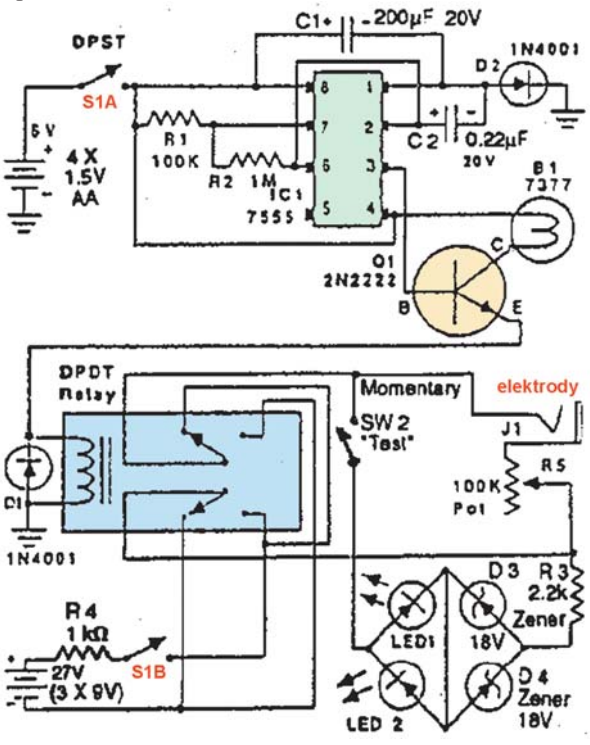
Oczywiście generator przebiegu prostokątnego o częstotliwości rzędu 30kHz można zrealizować na setki sposobów. Kilka przykładów takich prostych zapperów podanych jest na stronie: *http://zappers.narod.ru.*

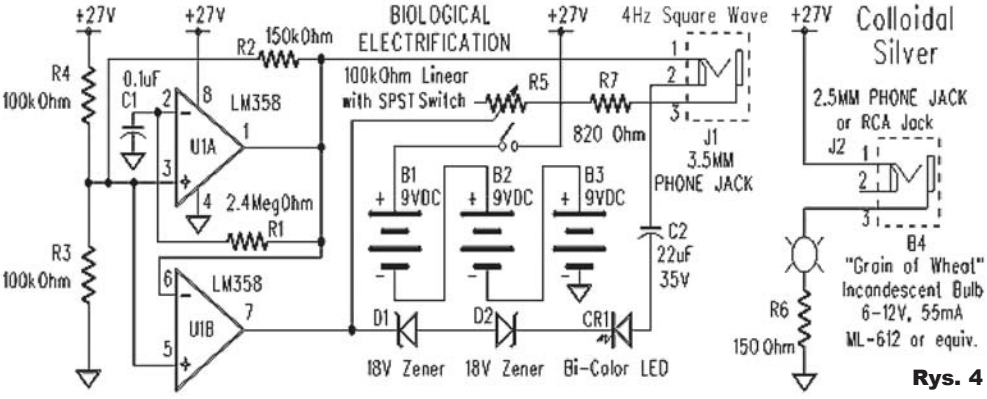
„Nowoczesny zapper 3-zakresowy" z trzypozycyjnym przełącznikiem można zrealizować na przykład według **rysunku 2**. Wartość R1 oraz pojemności kondensatorów C1... C3 można dobrać, żeby uzyskać założone częstotliwości pracy, na przykład 10kHz, 30kHz i 100kHz.

Rysunek 3 pokazuje jedną z pierwotnych postaci generatora Becka. Jest to prosty generator na kostce 555, który z częstotliwością połowy fundamentalnej częstotliwości rezonansu Schumanna (3,92Hz), w praktyce 0,67...4Hz, przełącza 5-woltowy przekaźnik. Ta część układu jest zasilana z czterech „paluszków", czyli napięciem około 5...6V. Podwójne styki przekaźnika podają na wyjście napięcie około 27V z trzech połączonych szeregowo baterii 9-woltowych. Dzięki przełączaniu styków przekaźnika, na nieobciążonym wyjściu otrzymuje się dodatnie i ujemne impulsy o znacznej amplitudzie 27V, co teoretycznie daje miedzyszczytowo 54V i 27V wartości skutecznej. Takie napięcie wywołałoby nieprzyjemne wrażenie „szczypania", ale w praktyce tak nie jest. Jeśli chodzi o bezpieczeństwo, to rzeczywista wydajność prądowa jest mała, ponieważ po pierwsze małe 9-woltowe bloczki mają znaczną rezystancję wewnętrzną i niedużą wydajność prądową. Po drugie, ważniejsze, w szereg włączona jest duża rezystancja (R5 – potencjometr 100kΩ). Według zaleceń, potencjometr ten należy ustawić tak, żeby po dołączeniu elektrod przyrządu do ciała, nie występowało nieprzyjemne „szczypanie". W praktyce ta szeregowa rezystancja ogranicza nie tylko prąd, ale też napięcie, ponieważ z rezystancją ciała tworzy dzielnik napięcia podawanego na dołączone do ciała elektrody. Przycisk (chwilowy) S2 pozwala sprawdzić stan baterii – po naciśnięciu S2 powinny migotać różnokolorowe diody LED1 i LED2. Jeśli nie świecą – baterie trzeba wymienić.

Interesującym szczegółem – drobną zagadką jest w tym układzie obecność żarówki B1... Dociekliwi Czytelnicy zapewne odgadną intencje autora tego układu.

Rys. 3





Rys. 4

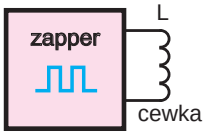
Rysunek 4 pokazuje „bardziej elektroniczną" wersję generatora Becka. Wzmacniacz operacyjny U1A typu LM358 jest klasycznym generatorem przebiegu prostokątnego zasilanym napięciem pojedynczym. Częstotliwość wyznaczają głównie elementy R1, C1. Wzmacniacz U1B jest jedynie inwerterem – odwracającym komparatorem. Całość zasilana jest bezpośrednio napięciem około 27V z trzech bateryjek 9-woltowych (maksymalne napięcie zasilania kostki LM358 wynosi 32V). Na wyjściach wzmacniaczy występują przebiegi prostokątne o przeciwnej fazie. Na nieobciążonym wyjściu występuje więc przebieg prostokątny o wartości międzyszczytowej około 50V. Tu też wydajność prądowa i napięcie wyjściowe są poważnie ograniczone przez rezystancje R5 i R7. Dziwnie dołączony obwód z C2, D1, D2 i dwukolorową (przeciwsobną) diodą LED CR1 jest półautomatycznym testerem napięcia baterii. Po włączeniu zasilania, powinna migotać dioda LED CR1, ale po włożeniu do gniazdka J1 wtyczki minijack, obwód ten zostanie odłączony, oszczędzając baterie.

Z prawej strony rysunku 4 jest też prościutki obwód z żaróweczką B4 i rezystorem R6. Gniazdko J2 to wyjście do podłączenia elektrod do wytwarzania w wodzie tzw. koloidalnego srebra, ale to odrębny temat, podobnie jak propozycje urządzeń do wytwarzania aktywnego tlenu, do ozonowania wody, czyli do kuracji z wykorzystaniem wody utlenionej.

Przyrządy „magnetyczne". Zappery, generatory Becka i liczne urządzenia EMEM mają na wyjściu elektrody. Podczas „sesji terapeutycznej" elektrody te mają kontakt ze skórą, a przez ciało płynie niewielki prąd. Istnieją też inne podobne przyrządy, które nie są bezpośrednio dołączane do ciała. Tu trzeba wspomnieć o różnych „magnetyzatorach" i „magnetyzerach". Najprostsze „magnetyzery" zawierają po prostu jeden lub kilka magnesów trwałych. Mówi się, że pole magnetyczne ma szczególnie dobry wpływ na stawy i kręgosłup, stąd oferta różnych magnetycznych opasek i pasów. Zaleca się też „magnesowanie" żywności za pomocą przyrządów, które zwykle mają postać pudełka, wewnątrz którego umieszczone jest magnes lub częściej kilka magnesów.

Dziś takie „magnetyzery" można łatwo zrobić samemu, ponieważ bez problemu i niedrogo można kupić silne magnesy neodymowe o niemal dowolnych kształtach i wielkościach. Wystarczy wpisać w wyszukiwarkę hasło: *magnes neodymowy cena*.

Takie proste „magnetyzery" wytwarzają *stałe* pole magnetyczne. Dostępne są też „magnetyzery", wytwarzające *zmienne* pola magnetyczne. W Internecie można znaleźć ideę ***zappicatora***. Jest to „przystawka magnetyczne" do zappera, w sumie zawierająca tylko jedną cewkę – **rysunek 5**. Prąd z zappera przepływa przez cewkę, a ta wytwarza pole magnetyczne. Oczywiście z uwagi na znikomą wydajność prądową zapperów i dużą częstotliwość pracy, co najmniej dziesiątki kiloherców, niezależnie od parametrów cewki, wytwarzane pole magnetyczne jest bardzo słabe. W przypadku wytwarzania pola magnetycznego kluczowe znaczenie ma wielkość prądu w cewce. Dużo większe prądy i dużo większe pole magnetyczne uzyskuje się w różnego rodzaju „pulserach magnetycznych".



Rys. 5

Rysunek 6 pokazuje jedną z wersji układowych „pulsera Becka". Układ zasilany jest bezpośrednio z sieci 120V (USA), dlatego zastosowany jest podwajacz (CD1, CD2, D1, D2), dający na zestawie głównych kondensatorów (C1...C6) napięcie ponad 300V. Naciśnięcie przycisku S1 otwiera tyrystor i potężny impuls prądowy rozładowania banku kondensatorów płynie przez dołączoną cewkę L, wytwarzając impuls pola magnetycznego.

Uwaga!

Nie należy takiego przyrządu adaptować do sieci 230V z uwagi na brak izolacji galwanicznej i ryzyko śmiertelnego porażenia w przypadku błędu lub usterki!

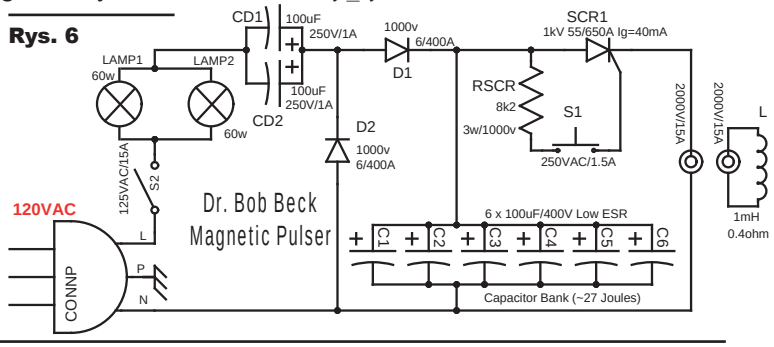
Inną gałęzią przyrządów „magnetycznych" są różne generatory w.cz. z rozmaitymi antenami. Trzeba jednak pamiętać, że przy wyższych częstotliwościach po pierwsze trudno uzyskać pole magnetyczne o dużym natężeniu, a po drugie pole magnetyczne nierozdzielnie łączy się z polem elektrycznym w pole elektromagnetyczne. A tak na marginesie... obserwujemy tu paradoksalną sytuację: z jednej strony mówi się o szkodliwym wpływie telefonów komórkowych i wszelkich fal radiowych, a z drugiej fale radiowe z zakresu krótkofalowego mają leczyć...

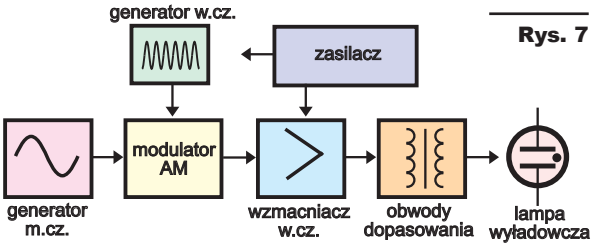
Część przyrządów nazywanych EMEM i generatorami Rife'a (Rife-Bara) wytwarza właśnie pole elektromagnetyczne, czyli fale radiowe. W opisach niektórych z nich wskazuje się na malejącą z kwadratem odległości „siłę pola", co ma wskazywać na wykorzystanie wytwarzanego modulowanego pola elektromagnetycznego w.cz. Niemniej takie przyrządy często mają też lampę wyładowczą (plazmową – dużą neonówkę), która emituje światło, czyli także fale elektromagnetyczne, tyle że o częstotliwościach setek teraherców.

Generatory EMEM i Rife Machines mają bardzo różną konstrukcję i różne przebiegi wyjściowe. Przegląd przyrządów dostępnych w USA można znaleźć między innymi na stronie:
www.frequencyrising.com/rifemachine-compare.html

W wersjach z modulowaną częstotliwością nośną wykorzystywane są urządzenia krótkofalarskie – szczegółów można próbować szukać w Internecie (po angielsku). Przykład z obszernym opisem można znaleźć choćby na stronie:
http://w5jgv.com/rife/2011_Rife_Beam-Ray_System.

Rys. 6





Rys. 7

Uproszczony schemat blokowy generatora Rife'a pokazany jest na **rysunku 7**. Z informacji zgromadzonych w Internecie wynika, że stosowane są tam lampy wyładowcze o różnych kolorach światła. Jeśliby kolor wytwarzanego światła nie miał kluczowego znaczenia, a tak wynika z przeglądu proponowanych rozwiązań, a ponadto gdyby nieistotne byłoby wtedy pole elektromagnetyczne, tylko modulowane światło, to takie same przyrządy można zbudować dużo prościej, na bazie diod LED dużej mocy. Nie ma bowiem problemów z modulacją promieniowania diody LED przebiegami o częstotliwościach rzędu megaherców.

Dziś znanych i reklamowanych jest mnóstwo różnych „elektronicznych przyrządów terapeutycznych". Jeżeli znacząca liczba osób wyrazi zainteresowanie tą kontrowersyjną tematyką, w EdW przedstawione zostaną dokładniejsze opisy tego rodzaju przyrządów, a AVT zaoferuje zestawy do samodzielnego montażu oraz gotowe urządzenia – prosimy o listy w tej sprawie (*edw@elportal.pl*).

Rodzaje zapperów

Obecnie w różnych krajach można znaleźć najróżniejsze „generatory terapeutyczne", z których wiele nazywanych jest zapperami. Większość wytwarza przebiegi prostokątne. Tylko niektóre generują przebieg sinusoidalny. Z punktu widzenia elektronika i klasycznej wiedzy technicznej, generatory „prostokąta" powinny być skuteczniejsze, ponieważ symetryczny przebieg prostokątny zawiera mnóstwo nieparzystych harmonicznych, które powinny zwiększać efekt. Niemniej według niektórych opinii przebieg wyjściowy powinien być sinusoidalny.

Zappery realizowane wg wskazówek Huldy Clark zazwyczaj dają na wyjściu przebieg o jednej biegunowości, jednokierunkowy (przebieg prostokątny ze składową stałą o wartości połowy amplitudy międzyszczytowej). Natomiast pulsery Roberta Becka wytwarzają przebieg przemienny, bez składowej stałej.

Tylko najprostsze urządzenia wytwarzają przebiegi o jednej, stałej częstotliwości. Większość ma możliwość wyboru lub programowania dowolnych częstotliwości lub ich sekwencji. W Internecie dostępne są zaskakująco obszerne wykazy „leczniczych częstotliwości" na poszczególne dolegliwości. Wyobrażenie o tym dają na przykład informacje, zawarte w linkach umieszczonych na stronie:
www.electroherbalism.com/Bioelectronics/FrequenciesandAnecdotes/index.htm
na przykład:
www.electroherbalism.com/Bioelectronics/FrequenciesandAnecdotes/CAFL.htm.

Mówi się jednak, że mutacje powodują zmianę „częstotliwości rezonansowych" poszczególnych pasożytów, bakterii i wirusów, więc dużą popularnością cieszą się znacznie łatwiejsze w obsłudze generatory przemiatane. Wytwarzają one przebieg, którego częstotliwość bardzo powoli i płynnie zmienia się w czasie. W ten sposób przemiatane są wszystkie częstotliwości, więc nie ma obawy „nietrafienia w pasożyta", a pewną niedogodnością jest jedynie konieczność dłuższego poddania się takiemu szerokopasmowemu przemiataniu. Właśnie w ten sposób działa opisany dalej **Zapper DDS**, który jest nowoczesnym przyrządem o ogromnych możliwościach. Oferuje „szerokopasmowe przemiatanie" w kilku zakresach, a wersja z rozszerzonym, rozbudowanym oprogramowaniem dodatkowo daje możliwość samodzielnego tworzenia dowolnych własnych sekwencji.

Jeżeli natomiast Czytelnicy byliby zainteresowani znacznie prostszym w obsłudze i tańszym zapperem z kilkuzakresowym szerokopasmowym przestrajaniem, możemy przedstawić także i taki układ (prosimy o listy – *edw@elportal.pl*)

Zapper DDS

Warto na wstępie sprecyzować, czym jest Zapper DDS z technicznego punktu widzenia. Przyjmując najbardziej ogólną definicję, jest to zaawansowany generator napięcia przemiennego z przemiataniem częstotliwości. Przy czym amplituda oraz zakres częstotliwości jest ściśle ustalony dla danego programu. Dla różnych programów to napięcie wynosi od 6 do 12V, a częstotliwość od 20kHz do nieco ponad 1MHz. Nie wszystkie zappery mają możliwość dowolnej zmiany wszystkich parametrów. W najprostszych wersjach napięcie i częstotliwość są ustawione na sztywno. Z drugiej strony, bardzo zaawansowane zappery mają dodatkowe regulacje, jak na przykład zmiana czasu przemiatania. Taki generator można zbudować na wiele sposobów.

1. Podstawowa metoda to wykonanie zappera na bazie VCO, czyli generatora przestrajanego napięciem. Do regulacji tego napięcia może posłużyć oddzielny generator przebiegu piłokształtnego. Dzięki temu, na bazie dwóch układów, jesteśmy w stanie zbudować funkcjonalny zapper z regulacją amplitudy napięcia wyjściowego, zmiennym zakresem częstotliwości przemiatania, a także czasem przemiatania.

2. Inną metodą jest zastosowanie generatora DDS, czyli z bezpośrednią syntezą cyfrową. W ten sposób zastępujemy analogowy układ regulacji parametrów programem w mikrokontrolerze. Możliwe są dwie drogi realizacji urządzenia w wersji cyfrowej.

2a. Jako generator DDS może posłużyć gotowy układ, który do pracy wymaga jedynie podania drogą cyfrową częstotliwości i amplitudy. Wtedy mikrokontroler zajmuje się tylko przemiataniem.

2b. Inna możliwość to realizacja całego toru generatora programowo. Upraszcza to w dość dużym stopniu cały układ, ale też mocno obciąża procesor. Na szczęście obecnie nawet bardzo tanie mikrokontrolery mają wystarczającą moc obliczeniową do takich zastosowań.

W prezentowanym zapperze wykorzystano właśnie wersję 2b – technikę DDS zrealizowaną programowo. Aby osiągnąć na wyjściu maksymalną częstotliwość powyżej 1MHz, do budowy zappera został użyty mikrokontroler STM32F103C8T6. Jego maksymalna częstotliwość taktowania rdzenia wynosi 72MHz. Ma również rozbudowane układy peryferyjne, w tym timer z PWM, na którym zbudowano prosty przetwornik cyfrowo-analogowy. Jak już wspominałem, amplituda napięcia na wyjściu zappera powinna mieścić się w przedziale około 6–12V. Wyjście mikrokontrolera zapewnia jedynie 3,3V. Należy więc dołączyć dodatkowy wzmacniacz. W prezentowanym urządzeniu zastosowano jednak nieco inny układ. Opierając się na fakcie, że przebieg wyjściowy może mieć dowolny kształt, byle tylko napięcie miało zmienną polaryzację, zamiast wzmacniacza podłączono zwykły komparator. Ma to tę zaletę, że nie trzeba się martwić amplitudą generatora DDS i można wykorzystać cały zakres jego napięć. A jest to dość krytyczne w tym układzie. Więcej informacji na ten temat podam w dalszej części artykułu. Bardziej istotnym szczegółem jest to, że na wyjściu komparatora amplituda sygnału zbliżona jest do napięcia zasilającego. Jak więc ją regulować? Tu znowu warto zauważyć, że mikrokontroler musi być zasilany przez osobny stabilizator na 3,3V. Pozwala to

na użycie stabilizatora o regulowanym napięciu w układzie komparatora. W prezentowanym zapperze użyto jednak przetwornicy podwyższającej z uwagi na fakt, że jest to urządzenie zasilane bateryjnie, a napięcie na wyjściu powinno dochodzić nawet do 12V.

Podsumowując, całe urządzenie, mimo stosunkowo prostej funkcjonalności, jaką jest generacja przebiegu o regulowanej amplitudzie, z przemiataniem częstotliwości w regulowanym zakresie i czasie trwania, składa się z kilku podukładów, których nie sposób ominąć. Mimo to jest to jedna z prostszych realizacji, w sumie okazuje się prostsza niż budowa analogowego zappera o podobnie zaawansowanych właściwościach.

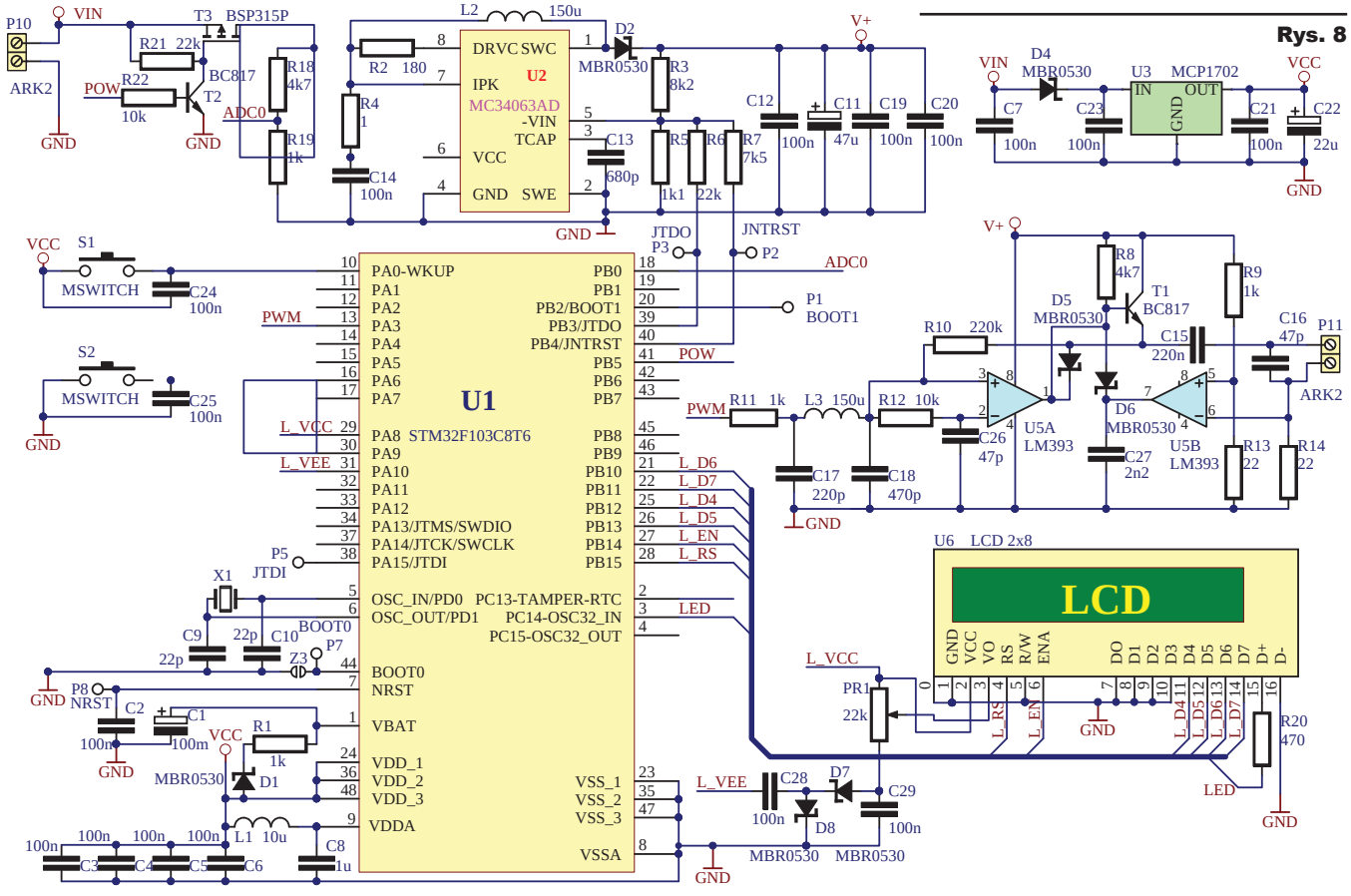
Opis układu

Pełny schemat urządzenia przedstawia **rysunek 8**. Całość da się podzielić na kilka mniejszych bloków.

Mikrokontroler STM32F103C8T6 jest podstawowym i zarazem najważniejszym elementem Zappera DDS. Steruje on całym urządzeniem, obsługuje interfejs użytkownika i generuje sygnał PWM, z którego powstaje przebieg sinusoidalny.

Na interfejs użytkownika składają się dwa przyciski i wyświetlacz alfanumeryczny 2x8 znaków. To z powodzeniem wystarcza do realizacji prostej i intuicyjnej obsługi zappera. Lewy przycisk służy do poruszania się po menu urządzenia, a prawy do wyboru parametru bądź zatwierdzenia. Przytrzymanie go powoduje również włączenie urządzenia. Do przycisków dołączono równolegle kondensatory 100nF aby wyeliminować drgania zestyków. To zjawisko można także skutecznie usunąć programowo, jednak jeśli zależy nam na krótkim czasie obsługi przycisków, staje się to niewygodne. W prezentowanym urządzeniu po naciśnięciu jednego z nich generowane jest odpowiadające mu przerwanie, w którym następnie ustawiana jest flaga informująca o tym zdarzeniu. Zostało to przedstawione na dole **listingu 1** (listingi są do pobrania w Elportalu, w materiałach dodatkowych z tego numeru). To samo przerwanie generowanie jest także po puszczeniu przycisku. Dzięki temu można w prosty sposób obsługiwać kombinację przycisków oraz dłuższe przytrzymanie. Wystarczy mierzyć czas pomiędzy pierwszym a drugim wystąpieniem przerwania. Wykrycie naciśnięcia obu przycisków naraz realizowane jest w taki sposób, aby nie generować fałszywych informacji. Funkcja powiadamia o naciśnięciu któregoś z przycisków dopiero po jego puszczeniu. Jeśli w czasie przytrzymania jednego przycisku zostanie choćby na krótko zwarty drugi, po puszczeniu ostatniego z nich funkcja zwróci informację, że zostały naciśnięte oba. Bez tego drobiazgu, łatwo byłoby o sytuację, gdy zwracana wartość będzie zawierała najpierw kod przycisku 1, a po chwili kod obu przycisków, po czym na koniec znów kod jednego z nich. Można zauważyć, że w pierwszym przerwaniu stan przycisku jest negowany, a w drugim nie. Nie jest to błędem, gdyż S1 został podłączony do dodatniej szyny zasilającej, w przeciwieństwie do S2. Przyczyną takiego dołączenia S1 jest wybudzanie procesora z głębokiego stanu uśpienia, które może odbywać się tylko poprzez podanie stanu wysokiego na wyprowadzenie PA0. Oczywiście można było oba przyciski dołączyć do dodatniego bieguna, ale wymagałoby to doprowadzenia dodatkowej ścieżki do S2.

Fragment programu wprowadzającego mikrokontroler w stan uśpienia *power*



Rys. 8

down znajduje się na **listingu 2**. A dokładniej, zajmuje się tym funkcja *off*, w której również konfigurowany jest pin Wake up (PA0) służący do wybudzenia procesora. Część programu znajdująca się w funkcji *main* służy do skonfigurowania mikrokontrolera do normalnej pracy po wyjściu z uśpienia. Pierwszą rzeczą po wystartowaniu programu jest sprawdzenie, czy procesor został włączony poprzez podanie zasilania, reset itp., czy też właśnie wybudzony pinem Wake up. Odbywa się to poprzez odczyt flagi *SBF* w rejestrze *PWR->CSR*. Następnie wyprowadzenie PA0 zostaje skonfigurowane jako wejście z podciąganiem do masy. Pętla while sprawdza określony czas stan panujący na tym wejściu. Jeśli przycisk jest odpowiednio długo przytrzymany, to zapper zostanie włączony, jeśli nie, to z powrotem przejdzie do stanu uśpienia.

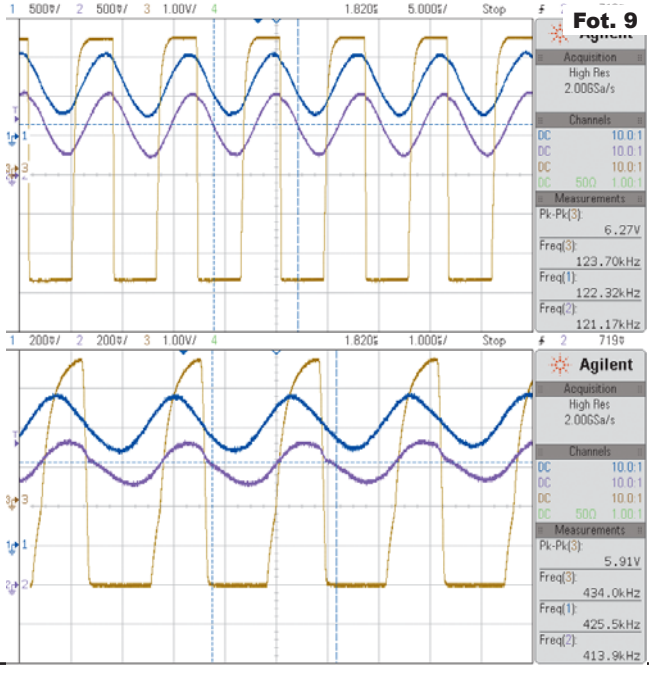
Wyświetlacz, który pozwala na pokazanie zaledwie 16 znaków, prezentuje skromne menu, gdzie można wybrać napięcie, program, a w trakcie pracy wyświetla pasek postępu informujący o czasie trwania jednego cyklu przemiatania częstotliwości. Można by sądzić, że to i tak przerost formy nad treścią, gdyż wystarczyłoby prezentowanie parametrów za pomocą kilku diod LED. Owszem, wystarczyłoby, pod warunkiem że nie mamy zamiaru już niczego zmieniać w urządzeniu. Wyświetlacz ma tę niepodważalną zaletę, że po dokonaniu modyfikacji w programie lub dodaniu nowej funkcjonalności nie trzeba niczego fizycznie zmieniać. Po prostu zmienia się wyświetlana treść, a nie cały przedni panel z diodami.

Warto zwrócić uwagę na dość istotną rzecz. Mikrokontroler zasilany jest napięciem 3,3V. Takie napięcie wystarcza również do zasilenia wyświetlacza, jednak do regulacji kontrastu potrzebne jest już około 5V. Ten problem można rozwiązać na dwa sposoby. Pierwszy z nich to dodanie stabilizatora na 5V i podłączenie pod to napięcie całego wyświetlacza. Drugi, to dołączenie wyprowadzenia kontrastu do ujemnego napięcia około –1,7V. To napięcie zależy od modelu wyświetlacza, stąd też dodaje się w tym miejscu zawsze potencjometr. Z kilku powodów wybrałem właśnie to drugie rozwiązanie. Po pierwsze, jak już wspomniałem wcześniej, mikrokontroler steruje całym urządzeniem, w tym także zasilaniem wyświetlacza. Należałoby więc zastosować stabilizator z możliwością wyłączenia, który dodatkowo nie powinien pobierać wtedy prądu. Po drugie, przyjmując już nawet, że byłby to stabilizator typu low drop, czyli o niskim spadku napięcia, do zasilania urządzenia i tak potrzebne byłoby co najmniej jakieś 5,2V. Kolejny powód to pobór prądu wyświetlacza, który jest większy przy zasilaniu go napięciem 5V. No dobrze, ale jak w prosty sposób uzyskać ujemne napięcie zasilania? Rozwiązanie widać na schemacie. Dwie diody Schottky'ego i dwa kondensatory całkowicie załatwiają sprawę. Na pinie PA10 mikrokontrolera generowany jest tylko sygnał PWM.

Najważniejszą część programu stanowi generator DDS. Wysyłanie kolejnych próbek sygnału musi odbywać się w ściśle określonym czasie. Ponadto realizacja drobnoziarnistego przemiatania do częstotliwości nieco powyżej 1MHz wymaga bardzo optymalnego kodu. W trzeciej częsci artykułu wyjaśnię, czym charakteryzuje się technika bezpośredniej syntezy cyfrowej i dlaczego nie można po prostu wygenerować na wyjściu mikrokontrolera przebiegu prostokątnego, omijając tym samym filtry i komparator. Trzeba będzie odwołać się tutaj do teorii cyfrowego przetwarzania sygnałów i przypomnieć o kilku istotnych zagadnieniach. A na razie omówmy...

Blok wyjściowy. Pierwszą czynnością, której należy poddać sygnał PWM z wyjścia PA3 mikrokontrolera, jest filtracja dolnoprzepustowa. Jest to ostatni krok, a zarazem jedyny analogowy, bezpośredniej syntezy cyfrowej. Pozwala odfiltrować wyższe składowe sygnału powstające w procesie próbkowania przetwornika DAC, które są związane z efektem powielenia widma. W przypadku sygnału PWM dochodzi jeszcze składowa o częstotliwości tego sygnału oraz wszystkie jego harmoniczne. Mówiąc krótko, powstaje masa tak zwanych produktów, na które jedynym lekarstwem jest dobra filtracja. Dlatego też zastosowano filtr dolnoprzepustowy 3. rzędu złożony z elementów R11, C17, L3 i C18. Częstotliwość odcięcia filtru to około 1MHz, powyżej której charakterystyka tłumienia ma nachylenie 18dB/oktawę. Oznacza to, że dla 4,5MHz, tłumienie przekracza już 39dB, uwzględniając 3dB spadek przy 1MHz. Dla niewtajemniczonych, 39dB to prawie 100 razy. Dzięki temu, na wyjściu uzyskujemy w miarę czysty sygnał sinusoidalny. Przy dużych częstotliwościach pozostają jedynie zafalowania oraz niewielkie dudnienia spowodowane sygnałem lustrzanym, o czym będzie mowa w trzeciej części artykułu.

Sygnał za filtrem dolnoprzepustowym trafia na komparator napięć – układ U5A. Do wejścia nieodwracającego wchodzi bezpośrednio, natomiast do wejścia odwracającego poprzez prosty filtr RC złożony z elementów R12 i C26. Tak naprawdę nie chodzi tu o filtrację, a o przesunięcie fazy. Dzięki temu przesunięciu łatwo uzyskać sygnał prostokątny na wyjściu komparatora. Ponadto rezystor R10 wprowadza niewielkie dodatnie sprzężenie zwrotne i w efekcie pewną histerezę wejść. Służy to eliminacji drgań, gdy sygnały na obu wejściach są zbliżone do siebie. Na **fotografii 9** można zobaczyć, jak to wygląda w praktyce dla dwóch różnych częstotliwości. Nawet niewielkie przesunięcie fazy w połączeniu z histerezą wystarcza do wytworzenia stabilnego sygnału prostokątnego. Można w tym momencie zadać pytanie, dlaczego zamiast układu przesuwania fazy nie podałem po prostu średniego napięcia sygnału. Odpowiedzią niech będzie **fotografia 10** oraz **fotografia 11**, gdzie częstotliwość sięga już 1MHz. Pierwsza z nich przedstawia pojedynczy przebieg, druga kilkaset nałożonych na siebie. Widać dość wyraźnie, że trudno byłoby uchwycić średnie napięcie, gdyż do sygnału dodają się składowe o podobnych częstotliwościach, a mała rozdzielczość przetwornika powoduje, że całość faluje. Za to przesunięcie fazy za R12 i C26 wynosi już 90 stopni i komparator radzi sobie dość dobrze z wytworzeniem fali prostokątnej. Wprawdzie przy

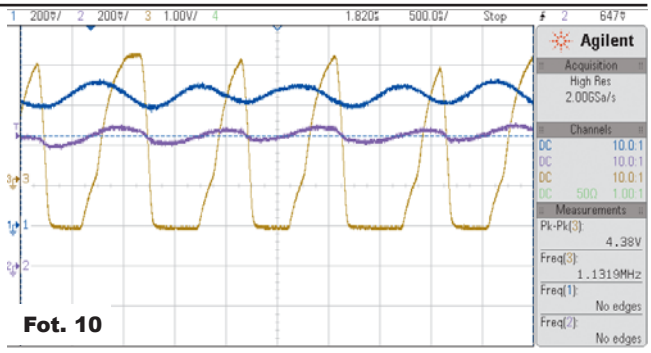


Fot. 9

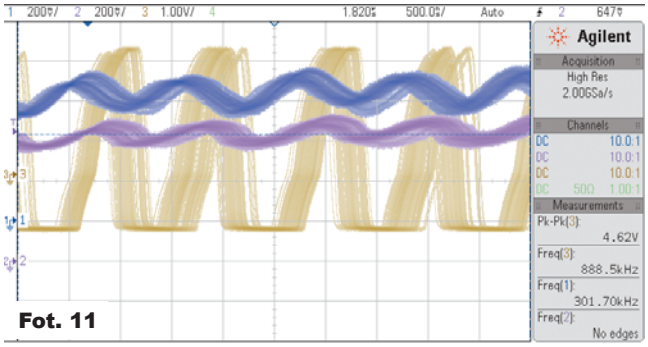
tej częstotliwości nie przypomina ona już prostokąta ze względu na dodanie pojemności wyjściowej C16, ale nie ma to większego znaczenia. Jeśli komuś zależy na ładniejszym sygnale, może zmniejszyć pojemność C16 albo w ogóle go tam nie montować. Jedynym jej zadaniem jest ograniczenie stromości zboczy, aby nie generować dużych zakłóceń do otoczenia.

Komparator U5 ma wyjście typu otwarty kolektor i trzeba zadbać o podciąganie wyjścia do dodatniego bieguna zasilania. Funkcję tę spełnia rezystor R8. Aby zapewnić odpowiednią wydajność prądową i jednocześnie nie obniżać wartości rezystancji R8, dodano tranzystor T1. Układ nie należy do typowych, więc opiszę go trochę dokładniej. Na pierwszy rzut oka wszystko wydaje się jasne. Jeśli na wyjściu komparatora panuje stan wysokiej impedancji (jego tranzystor wyjściowy jest zatkany), to prąd płynie przez rezystor R8 do bazy tranzystora T1, otwierając go. W efekcie na emiterze ustala się napięcie około 0,6V mniejsze od zasilającego. Druga możliwość to wyjście komparatora zwarte do masy, a tym samym także i baza T1. Tranzystor będzie w tym momencie zatkany, ale trzeba jeszcze sprowadzić do zera napięcie na jego emiterze, aby można było uzyskać falę prostokątną w pełnym zakresie. To zadanie realizowane jest przez diodę Schottky'ego D5, która łączy wyjście komparatora z emiterem T1. A czy nie można by bezpośrednio połączyć wyjścia komparatora z emiterem T1, aby nie powodować dodatkowego spadku napięcia na diodzie? Odpowiedź brzmi: absolutnie nie! Zwarlibyśmy w ten sposób bazę z emiterem tranzystora i stałby się on bezużyteczny.

W bloku wyjściowym umieszczony jest jeszcze drugi komparator U5B. Pełni on funkcję zabezpieczenia przeciwzwarciowego. W zapperze dość często zdarzać się będą sytuacje zwarcia elektrod ze sobą. Zabezpieczenie zapobiega wtedy szybkiemu rozładowaniu baterii i grzaniu się elementów układu. Przyjrzyjmy się bliżej jego budowie. Na wejście nieodwracające trafia napięcie z dzielnika R9 i R13, natomiast na wejście odwracające napięcie odkładające się na R14. Można w uproszczeniu powiedzieć, że rezystancja pomiędzy elektrodami wraz z R14 też tworzą dzielnik napięć. W ten sposób łatwo zrozumieć działanie układu. Pierwszy dzielnik R9, R13 podłączony jest między masę a dodatni biegun zasilania. Pojawiająca się na wyjściu fala prostokątna jest przesunięta o połowę napięcia zasilającego ze względu na kondensator C15 usuwający składową stałą. Więc drugi dzielnik można potraktować tak, jakby był włączony między masę a połowę napięcia zasilającego. Na razie pomińmy fakt, że znajduje się tam przebieg prostokątny. Komparator porównuje napięcia na tych dwóch dzielnikach i jeśli potencjał na wejściu odwracającym będzie większy, to zwiera swoje wyjście do masy. A dzieje się tak wtedy, gdy rezystancja pomiędzy elektrodami spadnie poniżej pewnej wartości. Patrząc od drugiej strony, napięcia na dzielnikach będą równe, kiedy podział pierwszego będzie dwukrotnie większy, gdyż doprowadzone jest do niego dwukrotnie wyższe napięcie. Przy zwarciu elektrod podział drugiego dzielnika nagle zmniejsza się prawie do jedności i potencjał na wejściu odwracającym komparatora staje się dużo wyższy od tego na wejściu nieodwracającym. Ilustruje to **rysunek 12**. Do wyjścia komparatora dołączona jest baza tranzystora T1 poprzez diodę Schottky'ego D6. Od razu może się nasunąć pytanie, w jakim celu dodano tę diodę, skoro wyjście komparatora jest typu otwarty kolektor. Fakt, dioda byłaby niepotrzebna, gdyby nie było kondensatora C27. A tak, kondensator po rozładowaniu uniemożliwiałby szybkie otwarcie T1, ze względu na długi czas ładowania przez rezystor R8. Dzięki diodzie, kondensator nie jest niepotrzebnie rozładowywany komparatorem U5A i w trakcie normalnej pracy pozostaje naładowany. I tutaj zapewne padnie następne pytanie o potrzebę stosowania C27. Otóż bez niego układ mógłby łatwo się wzbudzać w związku z istnieniem opóźnienia na komparatorze. Dodatkowo uwzględniając fakt, że na wyjściu jest fala prostokątna, a nie cały czas połowa napięcia zasilania, jak przyjęto poprzednio dla uproszczenia, w każdym cyklu pojawiałyby się szpilki, zanim zdążyłby zadziałać komparator. Kondensator C27 tłumi oba niepożądane zjawiska, utrzymując przez jakiś czas małe napięcie na wyjściu komparatora, a co za tym idzie, także i na bazie tranzystora T1.



Fot. 10

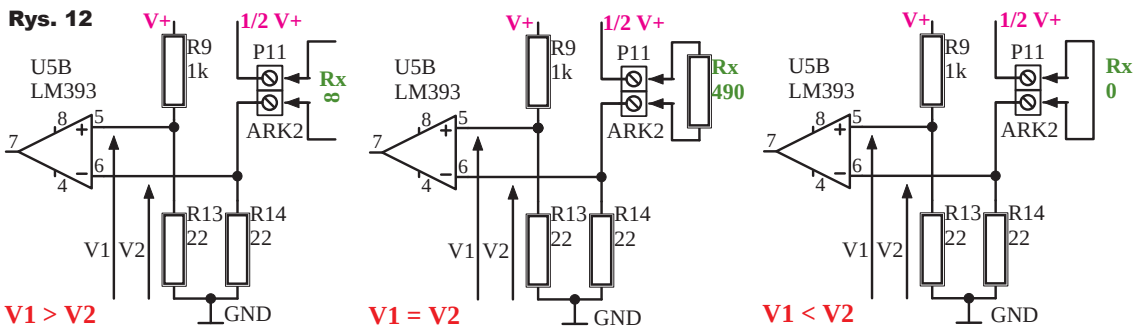


Fot. 11

W kolejnych częściach artykułu zostaną omówione mało znane, interesujące zagadnienia, dotyczące programowego rozwiązania DDS oraz montażu i uruchomienia przyrządu.

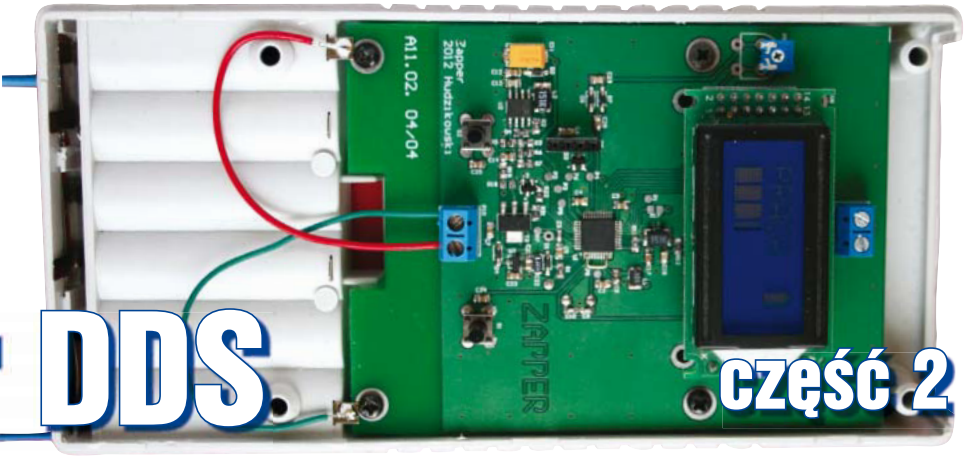
Arkadiusz Hudzikowski
Piotr Górecki

Rys. 12



kit 3100 AVT

Zapper_DDS część 2



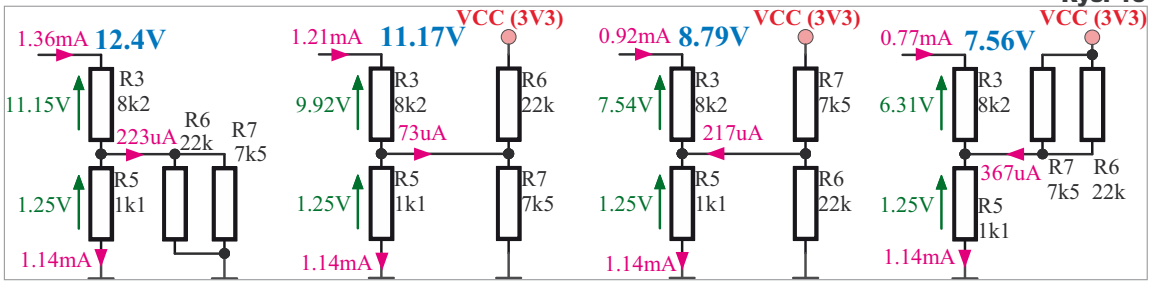
W pierwszej części artykułu opisane były różne przyrządy, używane do elektroterapii. Przedstawiony był też schemat zappera DDS i po części opis jego działania. Poniżej przedstawione są dalsze informacje o tym układzie.

Za miesiąc, w części 3, przedstawione będą dodatkowe szczegóły dotyczące realizacji programowej syntezy DDS na bazie mikroprocesora.

Przetwornica podwyższajaca

Jak pokazuje schemat zamieszczony w pierwszej części artykułu (rysunek 8), przetwornicę podwyższającą napięcie baterii (V_{IN}) do poziomu kilku do kilkunastu woltów (V+) zbudowano na bardzo starym, prostym i wciąż popularnym układzie MC34063 w standardowej konfiguracji. Kondensator C13 określa częstotliwość pracy przetwornicy, a dokładniej czas włączenia klucza, gdyż częstotliwość zależy jeszcze od stosunku napięcia wyjściowego do wejściowego. Z kolei od tego czasu oraz od maksymalnego prądu zależy wartość indukcyjności L2. Maksymalny prąd ograniczany jest rezystorem R4. Ostatnim elementem wymagającym obliczeń jest kondensator C11, jego wartość zależy od czasu włączenia klucza przetwornicy, maksymalnego prądu wyjściowego i dopuszczalnych tętnień na wyjściu. Jak widać, jest tu sporo zależności, które należy spełnić, aby przetwornica pracowała prawidłowo. Zestaw niezbędnych wzorów można znaleźć w karcie katalogowej układu (także w nocie aplikacyjnej AN920/D firmy On Semi). Nas interesuje pierwsza kolumna tabeli z wzorami, dotycząca przetwornicy step-up. Przy obliczeniach musimy określić takie parametry, jak minimalne napięcie wejściowe, napięcie wyjściowe, prąd maksymalny oraz minimalna częstotliwość pracy. Jeśli nie planujemy żadnej wymyślnej konstrukcji bądź też o dużym stosunku napięcia wyjściowego do wejściowego, to wzory dają w miarę poprawne wartości i nie ma kłopotów z uruchomieniem przetwornicy. Warto zwrócić też uwagę że z tą minimalną częstotliwością pracy to tak nie do końca prawda. MC34063 jest przetwornicą typu PFM (Pulse Frequency Modulation), czyli pracuje ciągle tylko przy nominalnym obciążeniu, natomiast gdy jest pobierany mały prąd, to generowane są paczki impulsów. A więc nawet jeśli minimalna częstotliwość została obliczona tak, aby była poza zakresem słyszalności, to i tak nie gwarantuje to cichej pracy przetwornicy. Przy w pełni naładowanych akumulatorach lub 6 bateriach 1,5V przetwornica może się w ogóle nie włączać przy wybraniu najniższego napięcia, gdyż sam przepływ prądu przez dławik i diodę D2 wytworzy na wyjściu odpowiednie lub nawet wyższe napięcie.

Napięcie wyjściowe ustala dzielnik złożony z elementów R3, R5 oraz dodatkowych R6 i R7. Te dodatkowe rezystory podłączone są do wyprowadzeń mikrokontrolera i służą do zmiany napięcia wyjściowego o określone wartości. W zależności od tego, czy na danym pinie panuje stan niski, czy wysoki, zmienia się prąd płynący przez te rezystory. Można otrzymać w ten sposób 4 różne napięcia wyjściowe. Tak naprawdę istnieją jeszcze 3 dodatkowe, gdy jeden z pinów lub oba są w stanie wysokiej impedancji. Nie są one jednak wykorzystywane w podstawowej wersji zappera. Zakres zmian napięć, jaki przyjęto, to 7V–12V. **Rysunek 13** pokazuje, jakie prądy płyną przez poszczególne rezystory i jakie napięcia się na nich odkładają. Wartości te są zawyżone o około 0,5V, aby uwzględnić spadki na stopniu wyjściowym generatora. Napięcie na rezystorze R5 podawane jest na komparator porównujący je z napięciem odniesienia równym 1,25V. Dlatego też przetwornica musi wytworzyć takie napięcie na swoim wyjściu, aby na dzielniku uzyskać potencjał równy dokładnie 1,25V. Dlatego na wszystkich przykładach z rysunku 13 napięcie i prąd dla R5 nie ulegają zmianie. O ile obliczenie wartości rezystancji dla zwykłego dzielnika złożonego z dwóch rezystorów nie jest problemem, o tyle pojawia się pytanie, jak to zrobić dla powyższego przypadku. Cóż, możliwości jest co najmniej kilka. Począwszy od kartki papieru i obliczenia klasycznego układu równań zawierającego 4 niewiadome, przez wykorzystanie programów do symulacji, takich jak Spice lub typowo obliczeniowych typu Matlab, skończywszy na programie w języku C/C++. Pierwsza metoda raczej nie zachęca. Obliczanie układu równań jakąkolwiek inną metodą też wydaje się nieciekawym rozwiązaniem, tym bardziej że później i tak trzeba wybrać rezystory dostępne z szeregu. Do takiego celu najlepiej nadają się metody numeryczne. W tym momencie kartka papieru odpada ze względu na liczbę potrzebnych operacji. Natomiast realizacja tego na przykład w Matlabie albo darmowym Octave nie powinna zająć więcej niż pół godziny, w końcu to tylko kilka rezystorów. Ja pod ręką miałem akurat środowisko QtCreator, więc napisałem program w C++. Tak naprawdę to tylko kilka równań korzystających z prawa Ohma i praw Kirchhoffa. Równania znajdują się w 5 zagnieżdżonych pętlach for, w których sprawdzane są wszystkie kombinacje rezystorów z danego szeregu. Po każdym przejściu pętli sprawdzane jest napięcie, jakie będzie na wyjściu dla wybranej kombinacji



Rys. 13

rezystorów. Jeśli napięcia mieszczą się w ustalonych przedziałach, to obliczany jest sumaryczny błąd napięć. Na koniec wyniki są sortowane, zaczynając od najmniejszego błędu. I tak dostajemy gotowe wartości rezystorów. Prościej już chyba nie można. Wydawałoby się, że komputerowi zajmie to dużo czasu, a tak naprawdę wszystko odbywa się poniżej sekundy. Gdyby była potrzeba dokonywania obliczeń na dużo większych zbiorach niż kilkadziesiąt wartości szeregu E24, to wtedy faktycznie można myśleć o optymalizacji kodu, ale w tak prostym przypadku nie ma to żadnego uzasadnienia. Kod programu dostępny jest w materiałach dodatkowych.

Na sam koniec opiszę jeszcze krótko układ włącznika na tranzystorze T3. Jego celem jest wyłączenie przetwornicy, gdy na wyjściu zappera nie jest generowany sygnał. Przetwornica nie ma wyprowadzenia pozwalającego na jej wyłączenie. Zresztą prąd i tak płynąłby przez dławik L2 i diodę D2, zasilając układy wyjściowe. Tranzystor T3 całkowicie odcina dopływ prądu. W efekcie, gdy mikrokontroler jest w stanie uśpienia, zapper pobiera około 3uA, co jest wartością na tyle małą, że nie było konieczności stosowania wyłącznika mechanicznego. Tak jak wspominałem na początku, wyświetlacz również jest wtedy wyłączony. Pracuje tylko stabilizator U3. Jest to układ MCP1702 charakteryzujący się znikomym prądem zasilania, który wynosi zaledwie 2uA. Włączenie T3 odbywa się po otwarciu tranzystora T2, a więc po podaniu stanu wysokiego na wyprowadzenie PB5 mikrokontrolera. W czasie gdy T3 przewodzi, na dzielniku rezystorowym R18, R19 mierzone jest napięcie, jakie w tym czasie występuje na bateriach bądź akumulatorach. Jest ono sygnalizowane na wyświetlaczu ikoną baterii.

Montaż i uruchomienie

Układ został zaprojektowany na dwustronnej płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 14**. Wszystkie elementy za wyjątkiem rezonatora kwarcowego i superkondensatora znajdują się po jednej stronie płytki. Montaż należy zacząć od wlutowania rezystorów, małych kondensatorów, następnie mikrokontrolera, tranzystorów i pozostałych układów scalonych. Początkowo nie należy lutować rezystorów R6 i R7. Po przylutowaniu większych kondensatorów, dławików, przycisków, złączy i w ostateczności elementów po drugiej stronie płytki można przystąpić do uruchomienia zappera. Po podaniu napięcia zasilania na złącze P10 i zaprogramowaniu mikrokontrolera układ powinien wystartować od razu. Pierwszą czynnością jest regulacja kontrastu wyświetlacza potencjometrem PR1. Jeśli nie uda się uzyskać wystarczającej ostrości, to warto sprawdzić, czy napięcie na kondensatorze C29 mieści się w granicach od –2V do –1V. W przeciwnym wypadku sprawdzić poprawność wlutowania diod D7 i D8. Gdy użyty został wcześniej zaprogramowany mikrokontroler, to można także sprawdzić, czy pracuje poprawnie. Najlepszą metodą jest podejrzenie przebiegu na wyjściu PA10, które dołączone jest do kondensatora C28. Musi tam być przebieg impulsowy. Sprawdzenia wymagają też napięcia na poszczególnych wyprowadzeniach. Na PA8 odpowiedzialnym za zasilanie wyświetlacza napięcie powinno przekraczać 3V, to samo na wyprowadzeniu PA9 od przycisku S2. Jeśli mikrokontroler wciąż nie daje znaku życia, należy sprawdzić po kolei wszystkie napięcia zasilające, wejścia NRST i BOOT0 oraz kwarc.

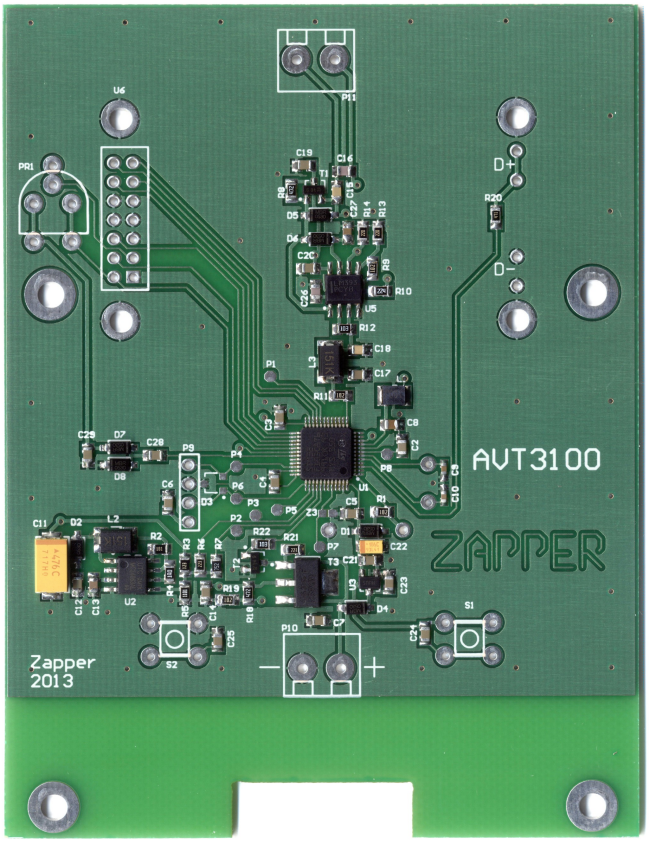
Gdy uda się poprawie uruchomić mikrokontroler i wyświetlacz, można przystąpić do sprawdzenia pracy przetwornicy. W tym celu należy uruchomić dowolny program, aby procesor włączył przełącznik na tranzystorze T3. Lewym przyciskiem przechodzimy do ekranu „Start” i zatwierdzamy prawym. W trakcie pracy zappera sprawdzamy napięcie na wyjściu przetwornicy, na przykład na kondensatorze C11. Powinno mieścić się w przedziale 10–12V. Jeśli jest inne, to należy sprawdzić, czy wszystkie elementy przy przetwornicy mają prawidłowe wartości. Jeśli wynosi 0V, to najprawdopodobniej tranzystor T3 nie jest włączony, można sprawdzić napięcie na jego drenie. W dalszej kolejności napięcia na T2, na kolektorze potencjał musi być bliski zeru, a na bazie powinno być około 0,6V. Gdy wszystko działa już poprawnie, można przystąpić do wlutowania rezystorów R6 i R7. Następnie powtórzyć pomiar napięcia na wyjściu przetwornicy dla wszystkich 4 nastaw. W menu wybieramy opcję „Napięcie” i prawym przyciskiem ustawiamy jego wartość. Generalnie, jeżeli rzeczywista wartość nie różni się od tych obliczonych na rysunku 13 o więcej niż 1V, można to uznać za poprawny wynik.

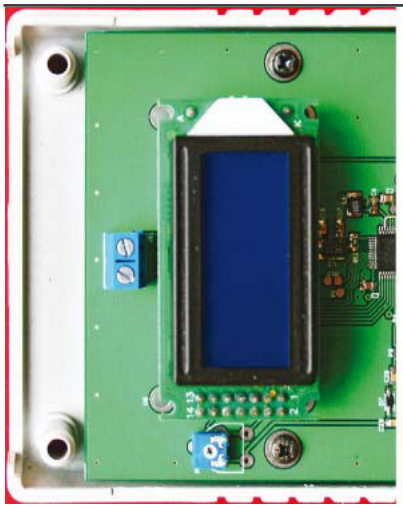
Ostatnim etapem jest sprawdzenie stopnia wyjściowego generatora. W tym miejscu przyda się oscyloskop, w ostateczności częstościomierz lub woltomierz AC. W trakcie pracy zappera należy sprawdzić, czy na wyjściu pojawia się przebieg prostokątny. Posługując się częstościomierzem lub woltomierzem, można co najwyżej sprawdzić, czy na wyjściu jest cokolwiek.

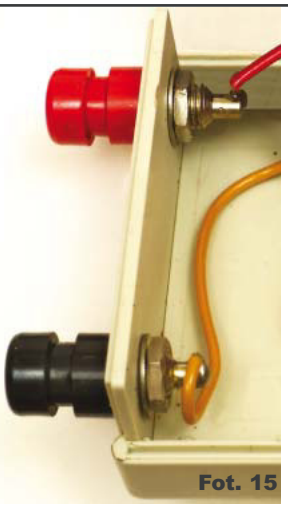
Poprawnie zmontowany układ nie będzie sprawiał żadnych problemów, ale mogą się zdarzyć błędy przy montażu. W celu łatwego wykrycia usterki najlepiej prześledzić sygnał od samego wyjścia mikrokontrolera, następnie przesunąć się za filtr, sprawdzić też wejście odwracające komparatora itd. Pomocne mogą okazać się też informacje, zawarte w trzeciej części artykułu.

Do zappera przewidziano obudowę KM-103B firmy Maszczyk. Wraz z nią warto od razu zaopatrzyć się w komplet styków SB-10 tej samej firmy. Obudowa przystosowana jest do 6 baterii typu R6. Zasadniczo do poprawnej pracy zappera wystarczyłyby 4 baterie 1,5V albo 4 akumulatory 1,2V. Użycie sześciu sztuk zapewni mniejszy pobór prądu dzięki przetwornicy. Niestety nie zawsze oznacza to mniejsze zużycie mocy, głównie ze względu na dość spory prąd pobierany przez wyświetlacz, który jest zasilany przez zwykły stabilizator liniowy. Jedno jest

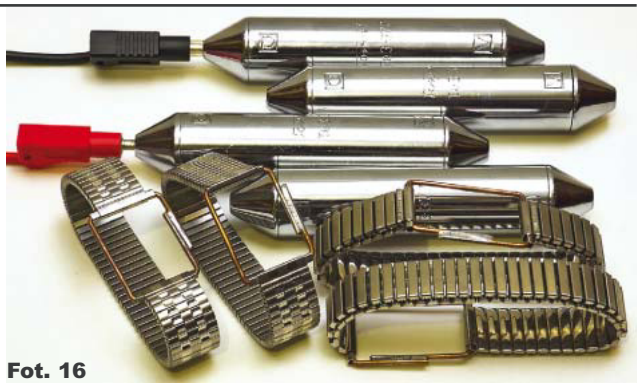
Rys. 14







Fot. 15



Fot. 16

pewne, większa liczba baterii starczy na dłużej. W obudowie należy wykonać dwa otwory pod przyciski. Z przodu można nakleić folię opisową. W górnym boku potrzebny jest otwór na przewody elektrod lub ewentualne złącze. Płytkę PCB mocujemy do obudowy na dodatkowych tulejkach o długości 12mm, dzięki czemu po złożeniu całości wyświetlacz przylega do górnej części. Przedtem należy zwrócić uwagę, czy wyświetlacz ma standardową wysokość. Wyjściem układu na płytce jest gniazdo ARK-2. Dla wygody, w czołowej ściance obudowy warto zamocować gniazda bananowe – **fotografia 15**.

Uwaga! Dzięki znacznej wydajności prądowej do przyrządu można podłączyć nawet osiem elektrod – wtedy jednocześnie można „zappować" dwie osoby.

Obsługa. Poruszanie się po menu i wybór opcji urządzenia sprowadza się do obsługi dwóch przycisków. Lewy przycisk służy do przemieszczania się, a prawy do wyboru lub zatwierdzania. ***W trakcie pracy prawym przyciskiem można włączyć pauzę, przez co program zostanie zatrzymany w danym miejscu i po wznowieniu nie zacznie się od początku***. Zakończenie pracy odbywa się przez naciśnięcie lewego przycisku. Oczywiście istnieje możliwość całkowitego wyłączenia urządzenia, wystarczy wybrać w menu opcję „Wyłącz". Ponowne włączenie jest możliwe poprzez przytrzymanie prawego przycisku. W zapperze można wybrać jeden z 4 programów pracy, różniących się między sobą zakresem częstotliwości. Kolejna opcja pozwala wybrać napięcie wyjściowe w zakresie od 7V do 12V.

W wersji rozszerzonej programu możliwe jest również przejście do zaawansowanych ustawień urządzenia poprzez naciśnięcie obu przycisków. Można wtedy zdefiniować dodatkowe programy pracy według własnych parametrów. Poruszanie się po menu ustawień jest analogiczne jak w głównym menu.

W wersji podstawowej dostępny jest tylko jeden dodatkowy program „PRx", gdzie ustawienia ograniczają się do wyboru dowolnej stałej częstotliwości z zakresu 20–1199kHz. Lewy przycisk służy do wyboru cyfry, a prawy do jej zmiany. Ponowne naciśnięcie obu przycisków powoduje wyjście z ustawień i powrót do głównego menu.

Ostrzeżenie

Na koniec chciałbym zwrócić uwagę osób chcących poeksperymentować z zapperem, aby były ostrożne przy modyfikacji napięcia wyjściowego. Przetwornica daje możliwość uzyskania większego zakresu. Należy pamiętać, że za bezpieczne uważane jest napięcie zmienne do 25V. Przy takich eksperymentach warto zmodyfikować obwód przeciwzwarciowy, tak aby ograniczał maksymalny prąd płynący przez elektrody, gdyż jak wiadomo, to prąd jest groźny, a nie napięcie. Można to zrobić w prosty sposób przez dołączenie rezystora R9 do napięcia 3,3V, zamiast do V+ i dobranie jego wartości. Nie należy tego wykonywać bez odpowiedniego sprzętu pomiarowego i oczywiście doświadczenia!

Elektrody

Ostatnim ważnym elementem zappera są elektrody. Stosowane są tutaj różne rozwiązania, takie jak elektrody kuliste, walcowate oraz płaskie lub bransolety bądź naklejki i opaski przewodzące. **Fotografia 16** pokazuje przykładowe elektrody. Wybór pozostawiam użytkownikowi. Ja do testów wykorzystałem klucze imbusowe 9mm i 10mm jako elektrody walcowate ☺

Elektrody mogą być dwie lub cztery (po dwie dołączone do każdego zacisku wyjściowego). Jeśli są dwie, to podczas pracy przyrządu należy je trzymać w rękach – wtedy między rękami przez ciało popłynie niewielki prąd zmienny. Jeżeli są cztery (zalecane), wtedy jedną parę trzeba trzymać w rękach, a drugiej parze zapewnić kontakt ze stopami (np. włożyć do skarpetek) – prąd popłynie przez ciało między rękami i nogami.

Wygodnie jest, jeżeli wyjścia przyrządu to gniazda bananowe, zamocowane w obudowie. Połączenie z elektrodami wykonuje się wtedy popularnymi przewodami laboratoryjnymi z banankami, ewentualnie z krokodylkami. Warto zaopatrzyć się w przewody laboratoryjne z „przelotowymi banankami", które pozwalają do jednego gniazdka dołączać kilka elektrod i przedłużać przewody – **fotografia 17**.

Elektrody można wykonać dowolnie we własnym zakresie. Inspiracją mogą być przykłady znalezione w Internecie – wystarczy wpisać hasło *zapper* lub lepiej *zapper electrode* i poszukać w grafice obrazków – fotografii.

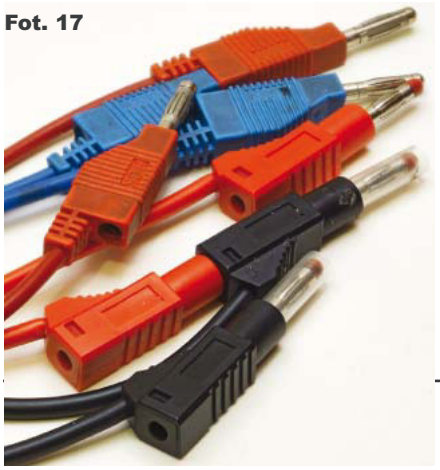
Często wykorzystywane są elektrody miedziane, będące po prostu odcinkami rurek instalacji wodnej/c.o.

W Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru dostepny jest program wynikowy i rysunki płytki.

Za miesiąc, w trzeciej części artykułu, przedstawione będą informacje o realizacji syntezy DDS opartej na mikroprocesorze. Dociekliwi Czytelnicy znajdą tam też odpowiedź, dlaczego procesor wytwarza napięcie sinusoidalne, które potem zamieniane jest w stopniu wyjściowym na przebieg prostokątny.

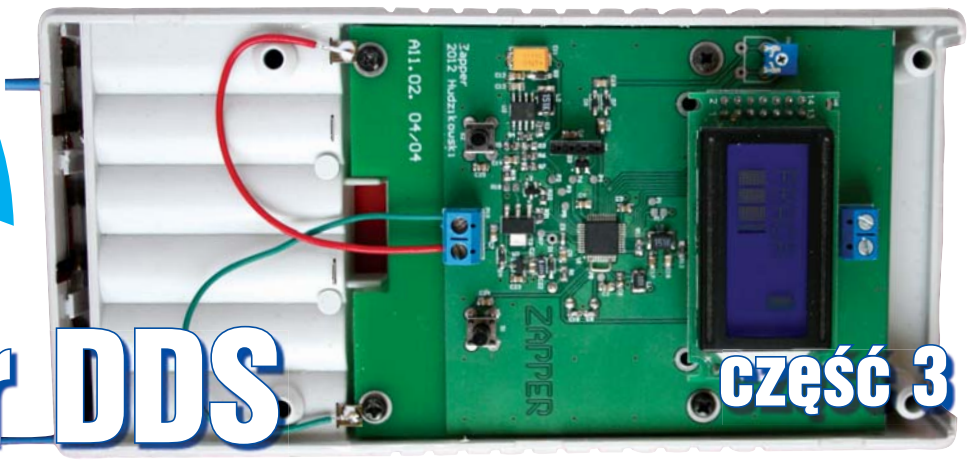
Arkadiusz Hudzikowski

Fot. 17



kit 3100 AVT

Zapper DDS część 3

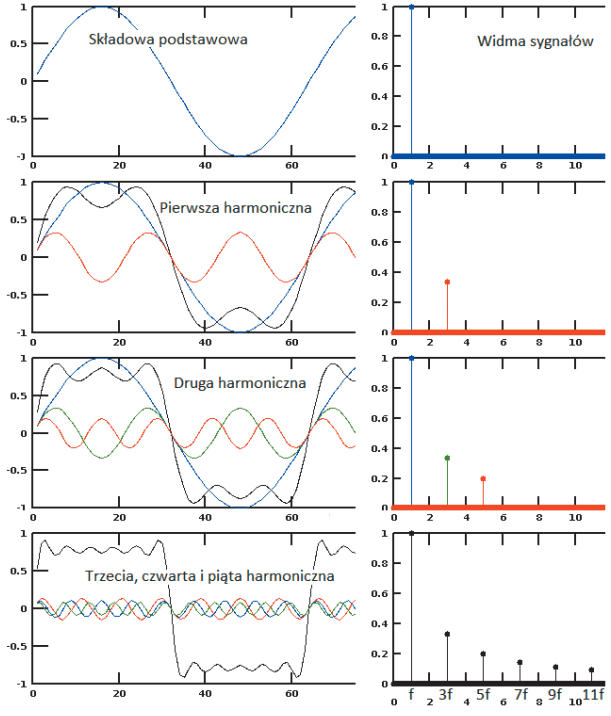


W dwóch częściach artykułu przedstawione były szczegóły budowy zappera DDS. W części trzeciej przedstawione są informacje dla wszystkich dociekliwych Czytelników, a zwłaszcza dla tych, którzy interesują się techniką DDS.

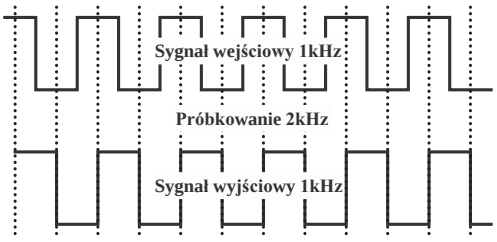
Bezpośrednia synteza cyfrowa DDS

Przypomnijmy, co to jest sygnał sinusoidalny i czym różni się od innych sygnałów. Każdy, kto słyszał o szeregach Fouriera albo nawet widmie sygnału, wie, że dowolny sygnał można utworzyć przez dodanie do siebie pewnej, a w niektórych przypadkach nieskończonej liczby fal sinusoidalnych o różnych częstotliwościach. Prążki w widmie reprezentują właśnie te sinusoidy. Dobrze ilustruje to **rysunek 18**. Widać też, co się dzieje z sygnałem prostokątnym, gdy do jego syntezy użyto tylko kilku sinusoid, zamiast nieskończonej liczby. Jest to nic innego jak filtracja dolnoprzepustowa. Przy bardzo stromym filtrze o częstotliwości granicznej nieco większej od częstotliwości sygnału prostokątnego na wyjściu takiego filtru otrzymamy nic innego, jak właśnie czystą falę sinusoidalną. Idźmy dalej. Jak wygląda taki sygnał w postaci cyfrowej? Każdy przetwornik analogowo-cyfrowy realizuje takie procesy jak próbkowanie, kwantowanie i kodowanie. Dzięki temu sygnał analogowy zamienia się w ciąg liczb. Próbkowanie sygnału jest odczytem jego wartości chwilowej co pewien czas. Zostaje on zamieniony na ciąg impulsów o różnych amplitudach. **Rysunek 19** wyjaśnia ten proces. W tym momencie pojawia się bardzo ważne pytanie, czy przy próbkowaniu jakakolwiek informacja o sygnale ulega zniekształceniu bądź utracie?

Rys. 18



Z twierdzenia Kotielnikowa–Shannona wynika, że wszystkie informacje o przebiegu zostaną zachowane, jeśli częstotliwość próbkowania będzie co najmniej dwukrotnie wyższa od najwyższej składowej w sygnale. Przykładowo, przez próbkowanie sygnału z częstotliwością 2kHz, żadna składowa sinusoida nie może przekraczać 1kHz. A więc fala prostokątna 1kHz na pewno nie zostanie dobrze przetworzona, gdyż zawiera harmoniczne o wyższych częstotliwościach. W praktyce należy zastosować przed przetwornikiem filtr dolnoprzepustowy, wycinający wyższe składowe.



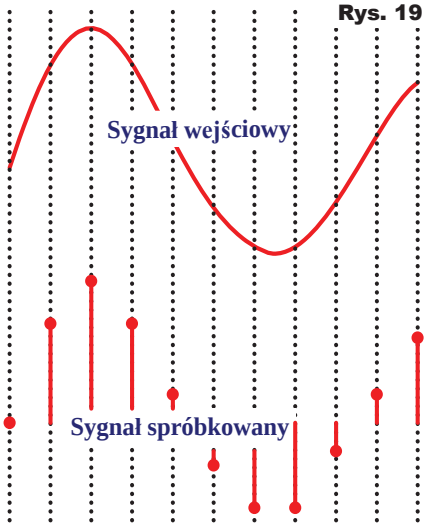
Rys. 20

To wszystko działa tak samo w drugą stronę, a więc przy generowaniu sygnału. Tam również koniecznością jest stosowanie filtru dolnoprzepustowego za przetwornikiem cyfrowo-analogowym. Na wyjściu możemy wtedy uzyskać sygnał o dowolnej częstotliwości, mniejszej od połowy częstotliwości próbkowania.

Po tym krótkim wstępie przyszedł czas na wyjaśnienie, ***dlaczego generujemy sinusoidę, a nie od razu prostokąt?***

Wcześniej napisałem, że nie należy próbkować sygnału prostokątnego 1kHz z częstotliwością 2kHz. A przecież można i co więcej, stosuje się to w analizatorach stanów logicznych. Tak spróbkowany sygnał można równie łatwo zamienić z powrotem na przebieg prostokątny, jak pokazuje to **rysunek 20**. Linią przerywaną oznaczono moment próbkowania. No więc gdzie w takim razie leży problem?

Rys. 19

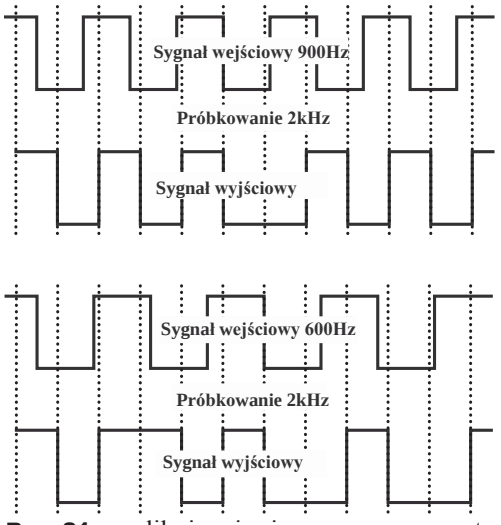


Już wyjaśniam. Przyjmijmy teraz, że sygnał prostokątny ma nieco niższą częstotliwość, na przykład

900Hz. Próbkujemy taki sygnał bez większych problemów, a później odtwarzamy na wyjściu. I tu, o dziwo, zamiast ładnego 900Hz prostokąta, mamy krótkie paczki sygnałów o częstotliwości 1kHz. Dla przebiegu 600Hz sytuacja wygląda jeszcze gorzej. Ilustruje to **rysunek 21**.

Ten sam efekt powstaje w analizatorach stanów logicznych. Jak łatwo zauważyć, kolejna częstotliwość, dla której uda się odtworzyć ładny prostokątny sygnał o wypełnieniu 50%, będzie wynosiła dokładnie 500Hz.

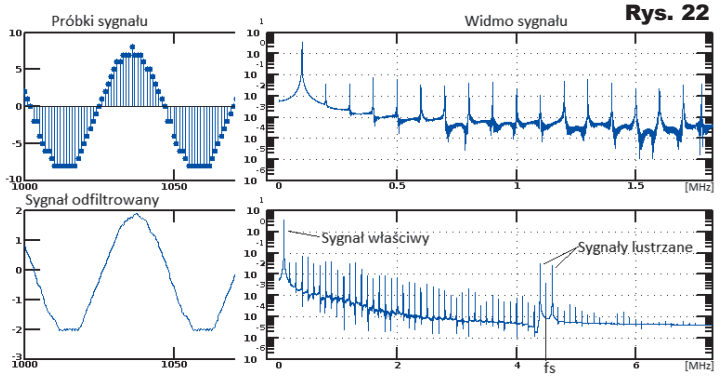
A jak to wygląda w przypadku sygnału sinusoidalnego? Teoria sygnałów mówi tutaj o dowolnych częstotliwościach co najmniej dwukrotnie mniejszych od częstotliwości próbkowania. Oczywiście jak to teoria, w praktyce nie do końca się sprawdza, gdyż wymaga użycia idealnego filtru dolnoprzepustowego o zerowym paśmie przejściowym. Sytuację przedstawia **rysunek 22, 23, 24**. Jest to efekt powielenia widma i związanych z tym częstotliwości lustrzanych, które należy odfiltrować, aby uzyskać czysty sygnał sinusoidalny. Przy generowaniu niskich częstotliwości nie stanowi to problemu, gdyż prążek lustrzany ma dużo wyższą częstotliwość od rzeczywistego i można go łatwo wytłumić prostym filtrem dolnoprzepustowym. Dlatego też w praktyce, bezpośredniej syntezy cyfrowej używa się dla częstotliwości wielokrotnie mniejszych od próbkującej. Natomiast w prezentowanym układzie jest ona tylko 4-krotnie mniejsza, gdyż nie zależy nam zbytnio na jakości generowanego sygnału.



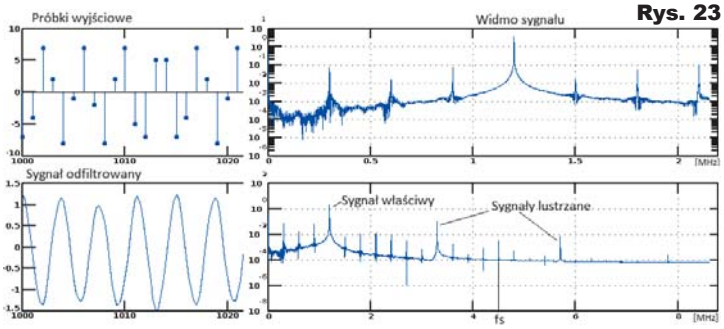
Rys. 21

Cały proces komplikuje się jeszcze przez zastosowanie sygnału PWM, zamiast standardowego przetwornika DAC. W związku z tym generowany przebieg jest sumą dodatkowych harmonicznych, nie tylko tych lustrzanych. Warto też powiedzieć nieco o rozdzielczości przetwornika. Taktowanie mikrokontrolera wynoszące 72MHz pozwala na wygenerowanie sygnałów z 16 różnymi wypełnieniami przy częstotliwości próbkowania 4.5MHz. Jednak przebieg wyjściowy wygląda o wiele lepiej, gdy

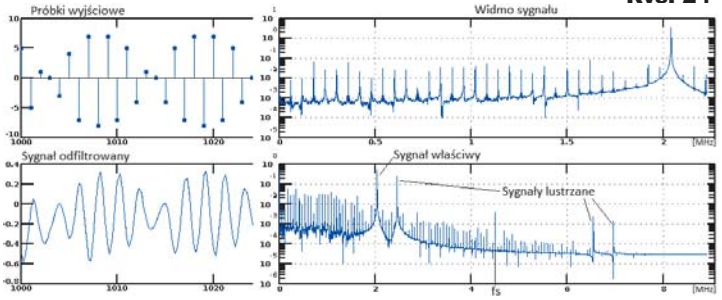
Rys. 22



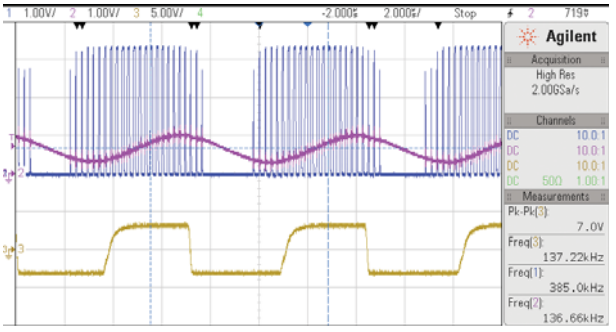
Rys. 23



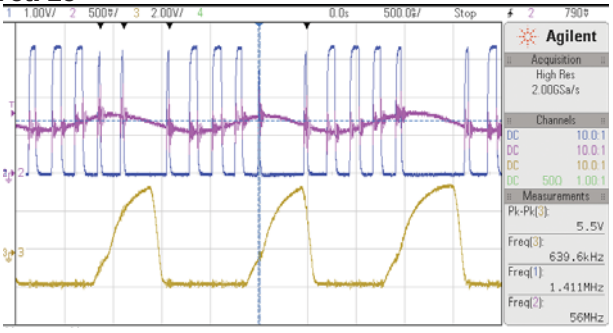
Rvs. 24



Fot. 25



Fot. 26



R E K L A M A

użyje się symetrycznego sygnału PWM. To wymusza pracę timera w mikrokontrolerze w obie strony (zliczanie w górę i w dół), co w efekcie daje jedynie 8 różnych wypełnień. Mamy więc do dyspozycji tylko 3-bitowy przetwornik DAC. Tak mała rozdzielczość wystarcza, jednak pojawiają się dodatkowe efekty w postaci powolnego falowania generowanego sygnału. Zaczyna być to wyraźne przy dużych częstotliwościach, będących tylko kilkakrotnie mniejszymi od częstotliwości próbkowania. Dzieje się tak dlatego, że w każdym okresie próbka generowana jest w nieco innej fazie, a więc powinna mieć inną wartość. Jednak ze względu na ograniczenia przetwornika, ta wartość się nie zmienia aż do momentu przeskoczenia na kolejny kwant przetwornika. Przykładowo, jeśli ta wartość przeskoczy dopiero po 10 okresach sygnału sinusoidalnego, to powstaje jakby dodatkowy sygnał o częstotliwości 10-krotnie mniejszej. Dodaje się on do sinusoidy i cały przebieg faluje z tą częstotliwością. Przy niskich częstotliwościach takie przeskoki zachodzą po kilkuset bądź kilku tysiącach okresów i zafalowania są prawie niewidoczne. W praktyce wygląda to jak na **fotografii 25** oraz **fotografii 26**, gdzie przedstawiono przykładowe sygnały PWM i odpowiadające im przebiegi wyjściowe dla niskiej i wysokiej częstotliwości. Dolny żółty przebieg występuje na wyjściu zappera. Opis jest bardzo pobieżny, ale nie chcę tutaj wchodzić w szczegóły, zainteresowanym polecam pozycję [1], gdzie przedstawiono podstawy, a także ograniczenia DDS oraz obszerny artykuł [2], który wyczerpuje ten temat. Bez tego należy przyjąć na słowo, że da się wygenerować przebieg sinusoidalny o dowolnej częstotliwości, co najmniej kilkukrotnie mniejszej od częstotliwości próbkowania. Przedtem powiedziałem też, że każdy inny przebieg można uzyskać jako złożenie sinusoid o różnych częstotliwościach i amplitudach. No i tu znowu pojawia się pytanie: skoro tak, to czy można w ten sposób wygenerować falę prostokątną o dowolnej częstotliwości? I tak, i nie. Jeśli chcemy powolny przebieg, to da się utworzyć całkiem dobrej jakości sygnał prostokątny. Obrazowo przedstawia to opisany wcześniej rysunek 18. Na przebieg prostokątny składają się sinusoidy o częstotliwości będącej wielokrotnościami 3, 5, 7 i kolejnych liczb nieparzystych składowej podstawowej. Im więcej harmonicznych, tym lepiej odwzorowany prostokąt. Załóżmy, że zadowala nas przebieg składający się z 5 harmonicznych, taki jak na ostatnim wykresie z rysunku 18. Ostania składowa będzie miała częstotliwość 11 razy większą od podstawowej. Prezentowany generator DDS próbkuje z częstotliwością 4,5MHz i tak jak pokazano na wcześniejszej fotografii 10, 1MHz sygnał oznaczony kolorem fioletowym wygląda jeszcze całkiem znośnie. Można przyjąć, że to maksimum możliwości tego generatora. Wracamy do fali prostokątnej. Skoro ostatnia harmoniczna nie może mieć więcej niż 1MHz, to przebieg prostokątny składający się z 5 harmonicznych będzie miał maksymalną częstotliwość 1MHz/11 ≈ 90kHz. I nic nie stoi na przeszkodzie, aby miał dowolną niższą, na przykład 89,9kHz. Jest jednak jeszcze jeden haczyk. Otóż mikrokontroler, który generuje sygnał, ledwo wyrabia się z próbkowaniem 4,5MHz dla pojedynczej sinusoidy. A dla prostokąta potrzeba aż 6 takich sygnałów! A więc obliczone 90kHz należałoby jeszcze kilkukrotnie zmniejszyć. Jak widać, wcale nie jest to takie banalne.

W czwartej, ostatniej części, przedstawiony będzie sposób realizacji nietypowej syntezy cyfrowej w praktyce.

Arkadiusz Hudzikowski

Źródła:

[1] MT-085 TUTORIAL, Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS), Analog Devices.
[2] A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis, Analog Devices.

Wykaz elementów

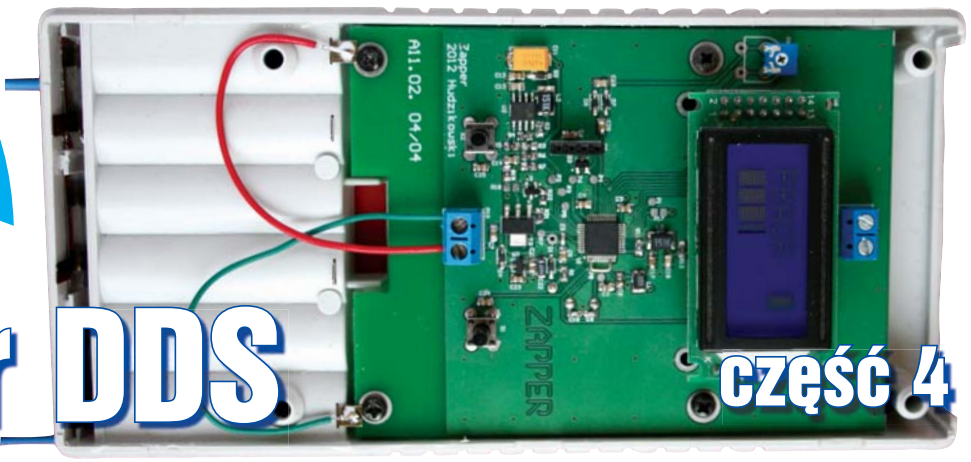
PR1	22k pot. montażowy
R1	1k SMD 0805
R2	180 SMD 0805
R3	12k SMD 0805
R4	1 SMD 0805
R5	1k1 SMD 0805
R6, R21	22k SMD 0805
R7	7k5 SMD 0805
R8, R18	4k7 SMD 0805
R9, R11, R19	1k SMD 0805
R10	220k SMD 0805
R12, R22	10k SMD 0805
R13, R14	22 SMD 0805
R20	470 SMD 0805
C1	0.1F elektrolityczny
C2-C7,C12,C14,C19,C20,C21,C23-C25, C28,C29	100n SMD 0805
C8	1u SMD 0805
C9, C10	22p SMD 0603
C11	47u tantalowy SMD D
C13	680p SMD 0805
C15	220n SMD 0805
C16, C26	47p SMD 0805
C17	220p SMD 0805
C18	470p SMD 0805
C22	22u tantalowy SMD A
C27	2n2 SMD 0805
L1	10u SMD 1210
L2, L3	150u SMD 1812
D1,D2,D4,D5,D6,D7,D8	MBR0530
T1, T2	BC817 SMD SOT-23
T3	BSP315P SMD SOT-223
U1	STM32F103C8T6 SMD LQFP-48
U2	MC34063AD SMD SO-8
U3	MCP1702 SMD SOT-23
U5	LM393 SMD SO-8
U6	LCD 2x8
P9	GOLDPIN 4
P10, P11	ARK 2
S1,S2	mikroprzycisk TACT 6x6mm
X1	8MHz HC49-S

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3100.

R E K L A M A

kit 3100 AVT

Zapper_DDS część 4



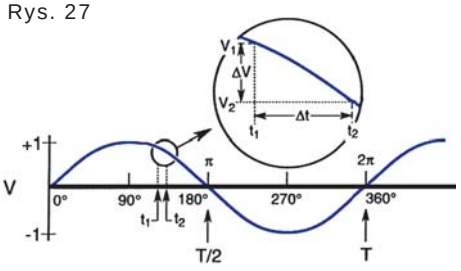
W poprzedniej części artykułu przedstawiłem trochę teorii i teraz mogę już opisać, jak bezpośrednią syntezę cyfrową zrealizować w praktyce. Po pierwsze, musimy znać wartości sygnału sinusoidalnego w różnych punktach lub ściślej – dla różnych faz. Wyjaśnia to **rysunek 27**. Ideałem byłaby znajomość tych wartości dla dowolnej fazy z zakresu 0–2π, czyli dla jednego okresu funkcji sinus. Można je policzyć, korzystając ze wzorów trygonometrycznych, ale o wiele prościej jest utworzyć sobie tablicę z wybranymi wartościami. Przy czym rozmiar takiej tablicy zależy głównie od rozdzielczości przetwornika DAC. Po prostu nie ma sensu zapisywać wartości, które różnią się od siebie o mniej niż jeden kwant przetwornika w najbardziej stromym fragmencie sinusoidy.

Mając już stablicowaną funkcję sinus, można przystąpić do wysyłania poszczególnych wartości do przetwornika DAC. Aby było prościej, przedstawię znów przykład. Załóżmy, że tablica ma 250 elementów i jest to jeden okres sinusoidy. Teraz wysyłając po kolei próbki z częstotliwością 4,5MHz, czas pomiędzy kolejnymi próbkami wynosi T = 1/F = 1/4,5MHz = 0,22us. Wysłanie całej tablicy zajmie wtedy 0,22us*250 = 55us i jest to jeden okres generowanego przebiegu. Podsumowując, wygenerowaliśmy ładną sinusoidę o częstotliwości F=1/T = 1/55us = 18kHz lub licząc na skróty 4,5MHz/256 = 18kHz. Łatwo zauważyć, że gdyby zaszła potrzeba wygenerowania sygnału o częstotliwości na przykład 17kHz, to należałoby użyć 264,7 próbki. Coś tu jednak nie gra, bo pojawia się wartość ułamkowa. Jeśli zaokrąglimy do 265, to wtedy częstotliwość na wyjściu wyniesie 16,98kHz. A co zrobić, gdy potrzeba dokładnie 17kHz? Wtedy trzeba zwiększyć bufor o taką wielokrotność, aby nie było ułamka na końcu. W tym wypadku co najmniej 10 razy. Wtedy bufor będzie zawierał 2647 próbek w 10 okresach sygnału sinusoidalnego. A co gdy zechcemy 27kHz na wyjściu? Jeden okres to 166,(6) próbek, a więc nie uda się uzyskać liczby naturalnej. Czy pozostaje tylko przybliżenie, czy też jest jakiś sposób na zasymulowanie nieskończonego bufora? Owszem, jest sposób, ale wymaga on nieco innego podejścia do problemu.

Poprzednio napisałem, że przy próbkowaniu 4,5MHz odstęp pomiędzy kolejnymi próbkami wynosi 0,22us. Kolejne próbki zawierają informację o wartości funkcji sinus dla dalszych przesunięć w fazie. To powtarza się co 2π, czyli jeden okres. Możemy wykorzystać ten fakt i dobierać tak kolejne przesunięcia w fazie, aby uzyskać dowolny okres. Przykładowo dla wspomnianych wcześniej 27kHz, to przesunięcie w fazie wyniosłoby dokładnie 2π/166,(6) = 0,0377 radiana.

Teraz trochę o tym, jak to zrealizować w mikrokontrolerze. Wiadomo już, że wszystko, co jest potrzebne do wygenerowania sinusoidy, to przesyłanie na wyjście przetwornika DAC kolejnych wartości funkcji sinus przesuniętych odpowiednio w fazie. Możliwości otrzymania dokładnych wartości co pewien ustalony kąt jest kilka. Bazują na funkcjach trygonometrycznych albo trikach z ich wykorzystaniem. Nawiasem mówiąc, istnieje bardzo prosty sposób na obliczanie kolejnych wartości przesuniętych względem siebie o ustalony kąt. Mimo to najszybszy i tak zawsze będzie odczyt z uprzednio przygotowanej tablicy. Wbrew pozorom wcale nie musi mieć ona dużych rozmiarów. Tak jak wspomniałem wcześniej ograniczeniem i tak jest przetwornik cyfrowo-analogowy. W przedstawionym zapperze jest on 4-bitowy, więc teoretycznie wystarczy 32-elementowa tablica z zapisanymi kolejnymi przesunięciami sinusa. Podczas odczytu próbek z tablicy aktualna wartość fazy będzie zaokrąglona do jednej z tych 32 wartości. Jak widać, całkiem proste i do tego w pełni skuteczne rozwiązanie. A więc do przetwornika

Rys. 27



DAC i tablicy funkcji sinus potrzeba nam jeszcze zmiennej, tak zwanego akumulatora fazy, która zawiera aktualny kąt i po wysłaniu każdej próbki jest inkrementowana o ustaloną wartość. Ta wartość to po prostu kąt fazowy pomiędzy dwiema sąsiednimi próbkami. Tak jak policzono wcześniej, w celu osiągnięcia częstotliwości na wyjściu równej 27kHz, ten kąt będzie wynosił 0,0377rad. Wystarczy przeskalować ją na jakąś sensowną liczbę dla procesora. Dla 32-elementowej tablicy akumulator fazy musi się zmieniać w zakresie 0–31, co powinno odpowiadać 0–2π radianów, a więc pełnemu okresowi przebiegu. Dla tego przykładu kąt 0,0377rad będzie wyrażony wartością 0,0377*32/2π = 0,192. Należy zadbać, aby przy zwiększaniu akumulatora fazy nie przekroczyć 31 i nie wyjść w ten sposób poza tablicę. Nic trudnego, wystarczy, że do adresacji użyjemy tylko 5 najstarszych bitów zmiennej. Najlepiej niech to będzie zmienna 32-, a nawet 64-bitowa. Im większa rozdzielczość, tym dokładniej można zmieniać kąt fazowy i w efekcie uzyskać dokładniejszą wartość częstotliwości wyjściowej. Sprawdźmy, jak to wygląda w praktyce dla 27kHz. Dysponując akumulatorem 32-bitowym, minimalną wartością kroku będzie 32/(2^32) = $7,45*10^{-9}$. Uwzględniam od razu fakt, że 5 pierwszych bitów tworzy wartość całkowitą z przedziału 0–31. Przy tej rozdzielczości wcześniej obliczone przesunięcie będzie dokładnie odwzorowane. Dla 64-bitowego akumulatora minimalna zmiana to 32/(2^64) = $1,73*10^{-18}$. Można

```
while(!lcdW)
{
    PWMO = sintab8[(count>>24)];
    count+=freq>>32;
    freq+=sweep;
}
```
Listing 3

dzięki temu uzyskać bardzo precyzyjną regulację częstotliwości z rozdzielczością $2{,}43*10^{-16}$Hz. Poniżej 1pHz! Jak widać, jeśli zależy nam na precyzyjnej regulacji częstotliwości, to głównym ograniczeniem jest tu akumulator fazy. Pozostałe kluczowe elementy, takie jak przetwornik DAC i filtr dolnoprzepustowy, odpowiadają jedynie za jakość uzyskanego sygnału, a więc poziom zniekształceń. Pomijając zawiłości teorii sygnałów, sama idea jest bardzo prosta, w języku C bezpośrednią syntezę cyfrową można zapisać za pomocą kilku poniższych linijek:

```
for(;;)
{
    DAC = sinTab[akum>>27];
    akum += faza;
    czekaj();
}
```

I jest to absolutnie wszystko, co niezbędne do wygenerowania przebiegu sinusoidalnego o stałej częstotliwości. Jednak jak wiadomo, w zapperze ta częstotliwość musi się zmieniać w określonym zakresie. Nic trudnego, wystarczy zwiększać wartość zmiennej *faza*, aby częstotliwość rosła. Kolejny szczegół dotyczy zależności czasowych. Próbki muszą być wysyłane w ściśle określonych odstępach czasu. W powyższym przykładzie realizuje to funkcja *czekaj()*. Niestety sytuacja komplikuje się, jeśli czasy mają być krótkie. Ponadto użycie timera jako generatora PWM, zamiast zwykłego przetwornika DAC, wymaga ścisłej synchronizacji czasowej. W zapperze generator PWM pracuje z częstotliwością 4,5MHz, co odpowiada 16 taktom zegara systemowego mikrokontrolera. I tyle dokładnie musi zająć wykonanie wszystkich instrukcji w pętli syntezy. Jak się okazuje, realizacja tego w języku C jest dość ryzykowna, gdyż wszystko zależy od kompilatora. Tu nie można pozwolić sobie na ani jeden takt mniej lub więcej, musi być dokładnie 16. W przeciwnym wypadku czeka nas efekt podobny do tego na **rysunku 21**, gdzie próbkowanie nadal wynosi 4,5MHz, ale co pewien czas gubiona bądź dodawana jest jedna próbka sygnału. Wykorzystanie przerwania od timera też nie wchodzi w grę, gdyż na samo wejście i wyjście z przerwania potrzeba już kilkunastu taktów. Można oczywiście obniżyć częstotliwość próbkowania, przykładowo do 2,25MHz, ale to z kolei okupione będzie bardzo dużymi zniekształceniami na wyjściu przy generowaniu najwyższych częstotliwości, na tyle dużymi, że nawet komparator nie poradzi sobie z identyfikacją sygnału.

```
   PWMO = sintab8[(count>>24)];
800059c:   ea4f 631a   mov.w     r3, sl, lsr #24
80005a0:   a90a        add       r1, sp, #40    ; 0x28
80005a2:   5cca        ldrb      r2, [r1, r3]
80005a4:   f04f 4380   mov.w     r3, #1073741824 ; 0x40000000
80005a8:   f8a3 2040   strh.w    r2, [r3, #64]   ; 0x40
    freq+=sweep;
80005ac:   e9dd 2302   ldrd      r2, r3, [sp, #8]
80005b0:   18a4        adds      r4, r4, r2
    count+=freq>>32;
80005b2:   44aa        add       sl, r5
    freq+=sweep;
80005b4:   eb45 0503   adc.w     r5, r5, r3
                       while(!lcdW)
80005b8:   f89b 3000   ldrb.w    r3, [fp]
80005bc:   2b00        cmp       r3, #0
80005be:   d0ed        beq.n     800059c <main+0x228>
```
Listing 4

```
uint32_t freqm = 0;
uint32_t freq = 0;
uint64_t sweep = 0;
while(1)
 {
 asm volatile(\
  „startLoop:”                    „\n\t”
  „lsrs r1, r0, #24”              „\n\t”
  „ldrb r1, [%[tab], r1]”         „\n\t”
  „strh r1, %[outp]” „\n\t”       „\n\t”
  „adds r0, r0, %[rf]”            „\n\t”
  „adds %[rfm], %[rfm], %[rsl]”   „\n\t”
  „adc.w %[rf], %[rf], %[rsh]”    „\n\t”
  „ldrb r1, [%[lcdw]]”            „\n\t”
  „cmp r1, #0”                    „\n\t”
  „beq.n startLoop”               „\n\t”
  :[rf] „+r” (freq), [rfm] „+r” (freqm)
  :[rsl] „r” ((u32)sweep), [rsh] „r” ((u32)(sweep>>32)),
  [tab] „r” (&sintab8), [lcdw] „r” (&lcdW), [outp] „m”
(PWMO)
  : „r0”, „r1”
  );
```
Listing 5

```
       asm volatile(\
800059e:   4653        mov     r3, sl
80005a0:   9402        str     r4, [sp, #8]
80005a2:   9501        str     r5, [sp, #4]
80005a4:   46a1        mov     r9, r4
80005a6:   46aa        mov     sl, r5
80005a8:   f8dd c014 ldr.w     ip, [sp, #20]
80005ac:   f8df e0b8 ldr.w     lr, [pc, #184]  ; 8000668
<startLoop+0xb4>
80005b0:   f04f 4280 mov.w     r2, #1073741824 ; 0x40000000
080005b4 <startLoop>:
80005b4:   0e01        lsrs    r1, r0, #24
80005b6:   f81c 1001 ldrb.w    r1, [ip, r1]
80005ba:   f8a2 1040 strh.w    r1, [r2, #64]; 0x40
80005be:   18c0        adds    r0, r0, r3
80005c0:   eb1b 0b09 adds.w    fp, fp, r9
80005c4:   eb43 030a adc.w     r3, r3, sl
80005c8:   f89e 1000 ldrb.w    r1, [lr]
80005cc:   2900        cmp     r1, #0
80005ce:   d0f1        beq.n   80005b4 <startLoop>
```
Listing 6

Asembler. Jeśli zależy nam na generowaniu na mikrokontrolerze serii STM32F103xx sinusoidy o częstotliwościach przekraczających 1MHz, to z pomocą przychodzi asembler. Mogłoby się wydawać, że pisanie w asemblerze na mikrokontrolery 32-bitowe to jakieś nieporozumienie. Jest w tym dużo prawdy, w taki sposób nie pisze się całych programów, bo jest to po prostu nieopłacalne. Mimo to zdarzają się w programie miejsca krytyczne, gdzie wymagana jest najlepsza optymalizacja, bądź kluczową rolę mają zależności czasowe. Pętla DDS w zapperze jest właśnie takim miejscem. Mikrokontrolery STM32 mają rdzeń serii Cortex-M, a więc najnowszą architekturę ARMv7 z zestawem instrukcji Thumb2. Pełny opis można znaleźć w nocie [3]. O ile sama nota wystarczy, żeby nauczyć się asemblera, o tyle polecam dużo prostszy i wygodniejszy sposób na pisanie wstawek. Wymaga to najpierw napisania kodu w C, a później podejrzenia tego, co powstało, w asemblerze. Mówiąc inaczej, wspomagamy się kompilatorem. Dzięki temu nie musimy poświęcać mnóstwa czasu na studiowanie wszystkich instrukcji, zajmujemy się tylko tym, co zasugerował kompilator. Mając gotowy szablon w asemblerze, optymalizujemy go do swoich potrzeb, wyrzucając zbędne instrukcje i modyfikując inne. Na przykład zmienne przechowywane w pamięci można zastąpić rejestrami, a niektóre operacje, złożone z dwóch instrukcji, zastąpić jedną. **Listing 3** przedstawia kod w C pętli DDS, **listing 4** kod asemblerowy wygenerowany przez kompilator, natomiast **listing 5** pokazuje gotową, zoptymalizowaną wstawkę. Udało się zmniejszyć liczbę instrukcji z 12 do 9, co w efekcie daje dokładnie 16 cykli zegarowych. Jak widać, nie korzystam tutaj bezpośrednio z konkretnych rejestrów oraz sztywnych adresów pamięci. Wstawka staje się dzięki temu bardzo elastyczna na zmiany w innych częściach programu. Kod po kompilacji wygląda jak na **listingu 6**. Można zauważyć, że odczyt z pamięci zmiennej *sweep* jest realizowany na samym początku, a w pętli odbywa się to już na rejestrach. Również odczyt z tablicy dało się napisać prościej, a adres skoku przygotowywany jest przed pętlą.

Arkadiusz Hudzikowski

Źródła:

[3] ARMv7-M Architecture Reference Manual, ARM.