МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Автоматики

Расчетно-графическое задание

по дисциплине «Методы обработки сигналов»

Расчет нерекурсивного фильтра на основе модифицированного гармонического ряда Фурье

Факультет: АВТ. Преподаватель: Худяков Д.С

Группа: АА-

Студент:

Вариант: 45

Новосибирск

2022

*Цель работы.*

Приобретение навыков проектирования и расчета нерекурсивных фильтров.

*Постановка задачи.*

В соответствии с исходными данными (табл. 1) определить параметры цифрового нерекурсивного фильтра (количество *L* отсчетов *ИХ*, параметры и значения сглаживающих множителей, значения отсчетов *ИХ*, *АЧХ* и *ФЧХ*) и по полученным данным построить графики сглаживающих множителей, *ИХ*, *АЧХ* и *ФЧХ*. Типы сглаживающих множителей и их аналитические выражения приведены в табл. 2.

Таблица 1. Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип | , р/с | *,*р/c | ,р/c | L | Kф |  | Тип  сглаживающих множителей |
| 45 | ДФ | - | 21.0 | 1.5 | 225 | 1.5 | 0.1 | Ланцоша |

Таблица 2. Тип сглаживающего множителя 

|  |  |
| --- | --- |
| Ланцоша | , |

*Теоретические сведения и формульные выражения для расчетов*

Проектирование нерекурсивного фильтра сводится к синтезу его передаточной функции  при которой *АЧХ* фильтра  удовлетворяет поставленным в исходных данных требованиям. Передаточная функция  нерекурсивного фильтра полностью определяется  отсчетами , , его импульсной характеристики.

На рисунке 1 представлена АЧХ дифференцирующего фильтра

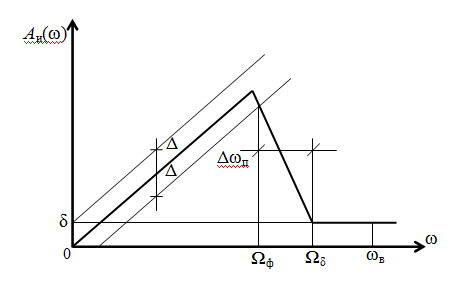


Рисунок 1 – АЧХ дифференцирующего фильтра

Находится совокупность сглаживающих множителей Ланцоша

согласно формуле ,  при 

C учетом вводимых обозначений проведем расчёты:

* Начальное значение частоты полосы задерживания - ,
* Конечное значение частоты полосы задерживания - 
* Граничное значение частоты - ωв=PI/Δt
* Шаг дискретизации по частоте – ω= 2 \* PI/ (N \* Δt)
* Параметры - , ,
* Искомые отсчеты , импульсной характеристики. Для *ДФ*



, .

* Расчетные соотношения для *АЧХ*   и *ФЧХ*  фильтра в диапазоне частот :

,

.

Таблица 3. Значения сглаживающих множителей

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| σ(1-45) | σ(46-90) | σ(91-135) | σ(136-180) | σ(181-225) |
| 1 | 0,935489 | 0,756827 | 0,504551 | 0,233872 |
| 0,999968 | 0,93265 | 0,751833 | 0,49852 | 0,228088 |
| 0,99987 | 0,929754 | 0,746802 | 0,492481 | 0,222323 |
| 0,999708 | 0,926801 | 0,741736 | 0,486434 | 0,216578 |
| 0,99948 | 0,923791 | 0,736634 | 0,48038 | 0,210853 |
| 0,999188 | 0,920725 | 0,731498 | 0,474319 | 0,20515 |
| 0,998831 | 0,917604 | 0,726328 | 0,468252 | 0,199467 |
| 0,998409 | 0,914427 | 0,721124 | 0,462181 | 0,193807 |
| 0,997922 | 0,911195 | 0,715887 | 0,456104 | 0,18817 |
| 0,99737 | 0,907909 | 0,710618 | 0,450024 | 0,182556 |
| 0,996754 | 0,904568 | 0,705317 | 0,443941 | 0,176965 |
| 0,996073 | 0,901173 | 0,699984 | 0,437854 | 0,171399 |
| 0,995328 | 0,897725 | 0,694622 | 0,431766 | 0,165858 |
| 0,994518 | 0,894224 | 0,689229 | 0,425677 | 0,160341 |
| 0,993644 | 0,89067 | 0,683807 | 0,419587 | 0,154851 |
| 0,992705 | 0,887064 | 0,678356 | 0,413497 | 0,149386 |
| 0,991703 | 0,883406 | 0,672877 | 0,407407 | 0,143949 |
| 0,990636 | 0,879696 | 0,66737 | 0,401319 | 0,138539 |
| 0,989506 | 0,875936 | 0,661837 | 0,395232 | 0,133156 |
| 0,988311 | 0,872125 | 0,656277 | 0,389148 | 0,127802 |
| 0,987054 | 0,868263 | 0,650692 | 0,383067 | 0,122477 |
| 0,985732 | 0,864352 | 0,645081 | 0,37699 | 0,117181 |
| 0,984348 | 0,860392 | 0,639446 | 0,370918 | 0,111914 |
| 0,9829 | 0,856383 | 0,633787 | 0,36485 | 0,106678 |
| 0,981389 | 0,852326 | 0,628105 | 0,358788 | 0,101472 |
| 0,979816 | 0,848221 | 0,622401 | 0,352732 | 0,096298 |
| 0,978179 | 0,844068 | 0,616674 | 0,346683 | 0,091155 |
| 0,976481 | 0,839869 | 0,610926 | 0,340642 | 0,086044 |
| 0,97472 | 0,835623 | 0,605158 | 0,334608 | 0,080965 |
| 0,972897 | 0,831331 | 0,599369 | 0,328584 | 0,07592 |
| 0,971012 | 0,826993 | 0,593562 | 0,322569 | 0,070908 |
| 0,969066 | 0,822611 | 0,587735 | 0,316563 | 0,065929 |
| 0,967058 | 0,818184 | 0,58189 | 0,310569 | 0,060985 |
| 0,964989 | 0,813714 | 0,576028 | 0,304585 | 0,056075 |
| 0,96286 | 0,809199 | 0,570149 | 0,298614 | 0,0512 |
| 0,960669 | 0,804642 | 0,564253 | 0,292654 | 0,046361 |
| 0,958418 | 0,800043 | 0,558342 | 0,286708 | 0,041557 |
| 0,956108 | 0,795401 | 0,552417 | 0,280775 | 0,03679 |
| 0,953737 | 0,790719 | 0,546477 | 0,274857 | 0,032059 |
| 0,951306 | 0,785995 | 0,540523 | 0,268953 | 0,027365 |
| 0,948817 | 0,781231 | 0,534556 | 0,263064 | 0,022709 |
| 0,946268 | 0,776428 | 0,528577 | 0,257192 | 0,01809 |
| 0,943661 | 0,771585 | 0,522587 | 0,251336 | 0,01351 |
| 0,940995 | 0,766703 | 0,516585 | 0,245497 | 0,008967 |
| 0,938271 | 0,761784 | 0,510573 | 0,239675 | 0,004464 |

Таблица 4. Значения импульсной характеристики

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t(1-45) | Wk(1-45) | t(46-90) | Wk (46-90) | t(91-135) | Wk (91-135) | t(136-180) | Wk (136-180) | t(181-225) | Wk (181-225) |
| 0 | 0,00E+00 | 4,5 | 0,003289 | 9 | 0,002854 | 13,5 | -0,03261 | 18 | 0,126598 |
| 0,1 | 0,000134 | 4,6 | -0,00903 | 9,1 | 0,019924 | 13,6 | -0,02155 | 18,1 | -0,01593 |
| 0,2 | -9,52E-05 | 4,7 | 0,007073 | 9,2 | -0,02604 | 13,7 | 0,058705 | 18,2 | -0,1147 |
| 0,3 | -0,00024 | 4,8 | 0,001299 | 9,3 | 0,009456 | 13,8 | -0,04556 | 18,3 | 0,150541 |
| 0,4 | 0,000567 | 4,9 | -0,00901 | 9,4 | 0,016103 | 13,9 | -0,00814 | 18,4 | -0,05467 |
| 0,5 | -0,0004 | 5 | 0,009158 | 9,5 | -0,02847 | 14 | 0,05663 | 18,5 | -0,09512 |
| 0,6 | -0,00032 | 5,1 | -0,00117 | 9,6 | 0,016235 | 14,1 | -0,05706 | 18,6 | 0,168871 |
| 0,7 | 0,000992 | 5,2 | -0,00832 | 9,7 | 0,010761 | 14,2 | 0,007309 | 18,7 | -0,0967 |
| 0,8 | -0,00087 | 5,3 | 0,010941 | 9,8 | -0,02931 | 14,3 | 0,050702 | 18,8 | -0,06583 |
| 0,9 | -0,00018 | 5,4 | -0,00399 | 9,9 | 0,022757 | 14,4 | -0,06623 | 18,9 | 0,1796 |
| 1 | 0,001331 | 5,5 | -0,00688 | 10 | 0,00408 | 14,5 | 0,024051 | 19 | -0,14035 |
| 1,1 | -0,00146 | 5,6 | 0,012232 | 10,1 | -0,02833 | 14,6 | 0,040859 | 19,1 | -0,0266 |
| 1,2 | 0,000196 | 5,7 | -0,00701 | 10,2 | 0,028556 | 14,7 | -0,07222 | 19,2 | 0,180726 |
| 1,3 | 0,001508 | 5,8 | -0,0047 | 10,3 | -0,00365 | 14,8 | 0,041188 | 19,3 | -0,1837 |
| 1,4 | -0,00209 | 5,9 | 0,012854 | 10,4 | -0,02539 | 14,9 | 0,027269 | 19,4 | 0,022558 |
| 1,5 | 0,000801 | 6 | -0,01003 | 10,5 | 0,033166 | 15 | -0,0743 | 19,5 | 0,170232 |
| 1,6 | 0,001455 | 6,1 | -0,00183 | 10,6 | -0,01204 | 15,1 | 0,057699 | 19,6 | -0,22454 |
| 1,7 | -0,00269 | 6,2 | 0,012657 | 10,7 | -0,02046 | 15,2 | 0,010342 | 19,7 | 0,081437 |
| 1,8 | 0,001604 | 6,3 | -0,01281 | 10,8 | 0,036149 | 15,3 | -0,07188 | 19,8 | 0,146026 |
| 1,9 | 0,001123 | 6,4 | 0,001633 | 10,9 | -0,02061 | 15,4 | 0,072489 | 19,9 | -0,26046 |
| 2 | -0,00317 | 6,5 | 0,011536 | 11 | -0,01363 | 15,5 | -0,00927 | 20 | 0,149742 |
| 2,1 | 0,002548 | 6,6 | -0,01513 | 11,1 | 0,037125 | 15,6 | -0,06459 | 20,1 | 0,105783 |
| 2,2 | 0,000484 | 6,7 | 0,005504 | 11,2 | -0,02881 | 15,7 | 0,084441 | 20,2 | -0,28876 |
| 2,3 | -0,00342 | 6,8 | 0,009439 | 11,3 | -0,00515 | 15,8 | -0,03067 | 20,3 | 0,227334 |
| 2,4 | 0,00355 | 6,9 | -0,01673 | 11,4 | 0,035808 | 15,9 | -0,05228 | 20,4 | 0,046581 |
| 2,5 | -0,00046 | 7 | 0,009566 | 11,5 | -0,03607 | 16 | 0,092477 | 20,5 | -0,30635 |
| 2,6 | -0,00336 | 7,1 | 0,006381 | 11,6 | 0,004619 | 16,1 | -0,05278 | 20,6 | 0,314652 |
| 2,7 | 0,004506 | 7,2 | -0,01741 | 11,7 | 0,032031 | 16,2 | -0,03508 | 20,7 | -0,03587 |
| 2,8 | -0,00167 | 7,3 | 0,01355 | 11,8 | -0,04182 | 16,3 | 0,095623 | 20,8 | -0,30944 |
| 2,9 | -0,00294 | 7,4 | 0,002451 | 11,9 | 0,015182 | 16,4 | -0,07434 | 20,9 | 0,413598 |
| 3 | 0,005303 | 7,5 | -0,01699 | 12 | 0,025767 | 16,5 | -0,01343 | 21 | -0,14901 |
| 3,1 | -0,00308 | 7,6 | 0,017165 | 12,1 | -0,04552 | 16,6 | 0,093065 | 21,1 | -0,2927 |
| 3,2 | -0,00211 | 7,7 | -0,00219 | 12,2 | 0,025944 | 16,7 | -0,09397 | 21,2 | 0,529625 |
| 3,3 | 0,005824 | 7,8 | -0,01536 | 12,3 | 0,017147 | 16,8 | 0,011954 | 21,3 | -0,3078 |
| 3,4 | -0,0046 | 7,9 | 0,020106 | 12,4 | -0,0467 | 16,9 | 0,084209 | 21,4 | -0,24713 |
| 3,5 | -0,00086 | 8 | -0,00731 | 12,5 | 0,036234 | 17 | -0,11025 | 21,5 | 0,677686 |
| 3,6 | 0,005958 | 8,1 | -0,01248 | 12,6 | 0,006469 | 17,1 | 0,040048 | 21,6 | -0,54804 |
| 3,7 | -0,0061 | 8,2 | 0,022081 | 12,7 | -0,04501 | 17,2 | 0,068729 | 21,7 | -0,15372 |
| 3,8 | 0,000779 | 8,3 | -0,01261 | 12,8 | 0,04534 | 17,3 | -0,12174 | 21,8 | 0,904638 |
| 3,9 | 0,005616 | 8,4 | -0,00838 | 12,9 | -0,00581 | 17,4 | 0,069567 | 21,9 | -0,97928 |
| 4 | -0,00743 | 8,5 | 0,022832 | 13 | -0,04024 | 17,5 | 0,046608 | 22 | 0,040117 |
| 4,1 | 0,002725 | 8,6 | -0,01774 | 13,1 | 0,05255 | 17,6 | -0,1271 | 22,1 | 1,42692 |
| 4,2 | 0,004734 | 8,7 | -0,00319 | 13,2 | -0,01908 | 17,7 | 0,098988 | 22,2 | -2,15528 |
| 4,3 | -0,00846 | 8,8 | 0,022156 | 13,3 | -0,03237 | 17,8 | 0,018165 | 22,3 | 0,483022 |
| 4,4 | 0,004871 | 8,9 | -0,02235 | 13,4 | 0,057197 | 17,9 | -0,12509 | 22,4 | 6,55247 |

Таблица 5. Значения амплитудно-частотной характеристики

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| w(1-45) | A(w) (1-45) | w (46-90) | A(w) (46-90) | w (91-135) | A(w) (91-135) | w (136-180) | A(w) (136-180) | w (181-225) | A(w) (181-225) |
| 0 | 0 | 6,26925 | 6,26926 | 12,5385 | 12,5385 | 18,8078 | 18,8081 | 25,077 | 0,000761 |
| 0,139317 | 0,139317 | 6,40857 | 6,40857 | 12,6778 | 12,6778 | 18,9471 | 18,9467 | 25,2163 | 0,000711 |
| 0,278633 | 0,278633 | 6,54789 | 6,54789 | 12,8171 | 12,8171 | 19,0864 | 19,0868 | 25,3556 | 0,000668 |
| 0,41795 | 0,41795 | 6,6872 | 6,6872 | 12,9565 | 12,9565 | 19,2257 | 19,2253 | 25,495 | 0,000629 |
| 0,557267 | 0,557267 | 6,82652 | 6,82652 | 13,0958 | 13,0958 | 19,365 | 19,3655 | 25,6343 | 0,000594 |
| 0,696584 | 0,696584 | 6,96584 | 6,96583 | 13,2351 | 13,2351 | 19,5043 | 19,5038 | 25,7736 | 0,000563 |
| 0,8359 | 0,8359 | 7,10515 | 7,10516 | 13,3744 | 13,3744 | 19,6437 | 19,6443 | 25,9129 | 0,000535 |
| 0,975217 | 0,975217 | 7,24447 | 7,24447 | 13,5137 | 13,5137 | 19,783 | 19,7823 | 26,0522 | 0,00051 |
| 1,11453 | 1,11453 | 7,38379 | 7,38379 | 13,653 | 13,653 | 19,9223 | 19,9231 | 26,1915 | 0,000487 |
| 1,25385 | 1,25385 | 7,5231 | 7,5231 | 13,7924 | 13,7924 | 20,0616 | 20,0607 | 26,3309 | 0,000466 |
| 1,39317 | 1,39317 | 7,66242 | 7,66242 | 13,9317 | 13,9316 | 20,2009 | 20,202 | 26,4702 | 0,000447 |
| 1,53248 | 1,53248 | 7,80174 | 7,80173 | 14,071 | 14,071 | 20,3402 | 20,339 | 26,6095 | 0,00043 |
| 1,6718 | 1,6718 | 7,94105 | 7,94106 | 14,2103 | 14,2103 | 20,4796 | 20,4811 | 26,7488 | 0,000414 |
| 1,81112 | 1,81112 | 8,08037 | 8,08037 | 14,3496 | 14,3497 | 20,6189 | 20,6171 | 26,8881 | 0,000399 |
| 1,95043 | 1,95043 | 8,21969 | 8,21969 | 14,4889 | 14,4889 | 20,7582 | 20,7603 | 27,0274 | 0,000386 |
| 2,08975 | 2,08975 | 8,359 | 8,359 | 14,6283 | 14,6283 | 20,8975 | 20,8951 | 27,1668 | 0,000373 |
| 2,22907 | 2,22907 | 8,49832 | 8,49833 | 14,7676 | 14,7675 | 21,0368 | 21,0394 | 27,3061 | 0,000362 |
| 2,36838 | 2,36839 | 8,63764 | 8,63763 | 14,9069 | 14,9069 | 21,1761 | 21,1745 | 27,4454 | 0,000352 |
| 2,5077 | 2,5077 | 8,77696 | 8,77696 | 15,0462 | 15,0462 | 21,3155 | 21,3117 | 27,5847 | 0,000342 |
| 2,64702 | 2,64702 | 8,91627 | 8,91627 | 15,1855 | 15,1856 | 21,4548 | 21,4925 | 27,724 | 0,000333 |
| 2,78633 | 2,78633 | 9,05559 | 9,05559 | 15,3248 | 15,3248 | 21,5941 | 21,0377 | 27,8633 | 0,000325 |
| 2,92565 | 2,92565 | 9,19491 | 9,1949 | 15,4642 | 15,4642 | 21,7334 | 12,3491 | 28,0027 | 0,000317 |
| 3,06497 | 3,06497 | 9,33422 | 9,33423 | 15,6035 | 15,6034 | 21,8727 | 1,73052 | 28,142 | 0,00031 |
| 3,20429 | 3,20429 | 9,47354 | 9,47353 | 15,7428 | 15,7428 | 22,012 | 0,17974 | 28,2813 | 0,000303 |
| 3,3436 | 3,3436 | 9,61286 | 9,61286 | 15,8821 | 15,882 | 22,1514 | 0,06337 | 28,4206 | 0,000297 |
| 3,48292 | 3,48292 | 9,75217 | 9,75217 | 16,0214 | 16,0215 | 22,2907 | 0,031287 | 28,5599 | 0,000292 |
| 3,62224 | 3,62223 | 9,89149 | 9,8915 | 16,1607 | 16,1607 | 22,43 | 0,018433 | 28,6992 | 0,000286 |
| 3,76155 | 3,76155 | 10,0308 | 10,0308 | 16,3001 | 16,3001 | 22,5693 | 0,012111 | 28,8386 | 0,000282 |
| 3,90087 | 3,90087 | 10,1701 | 10,1701 | 16,4394 | 16,4393 | 22,7086 | 0,008567 | 28,9779 | 0,000277 |
| 4,04019 | 4,04019 | 10,3094 | 10,3094 | 16,5787 | 16,5788 | 22,8479 | 0,006392 | 29,1172 | 0,000273 |
| 4,1795 | 4,1795 | 10,4488 | 10,4488 | 16,718 | 16,7179 | 22,9873 | 0,004963 | 29,2565 | 0,000269 |
| 4,31882 | 4,31882 | 10,5881 | 10,5881 | 16,8573 | 16,8574 | 23,1266 | 0,003976 | 29,3958 | 0,000266 |
| 4,45814 | 4,45813 | 10,7274 | 10,7274 | 16,9966 | 16,9965 | 23,2659 | 0,003265 | 29,5352 | 0,000263 |
| 4,59745 | 4,59745 | 10,8667 | 10,8667 | 17,136 | 17,1361 | 23,4052 | 0,002737 | 29,6745 | 0,00026 |
| 4,73677 | 4,73677 | 11,006 | 11,006 | 17,2753 | 17,2752 | 23,5445 | 0,002333 | 29,8138 | 0,000257 |
| 4,87609 | 4,87609 | 11,1453 | 11,1453 | 17,4146 | 17,4147 | 23,6838 | 0,002017 | 29,9531 | 0,000255 |
| 5,0154 | 5,0154 | 11,2847 | 11,2847 | 17,5539 | 17,5538 | 23,8232 | 0,001766 | 30,0924 | 0,000253 |
| 5,15472 | 5,15472 | 11,424 | 11,424 | 17,6932 | 17,6934 | 23,9625 | 0,001562 | 30,2317 | 0,000251 |
| 5,29404 | 5,29403 | 11,5633 | 11,5633 | 17,8325 | 17,8324 | 24,1018 | 0,001395 | 30,3711 | 0,000249 |
| 5,43335 | 5,43336 | 11,7026 | 11,7026 | 17,9719 | 17,972 | 24,2411 | 0,001256 | 30,5104 | 0,000248 |
| 5,57267 | 5,57267 | 11,8419 | 11,8419 | 18,1112 | 18,111 | 24,3804 | 0,001139 | 30,6497 | 0,000246 |
| 5,71199 | 5,71199 | 11,9812 | 11,9812 | 18,2505 | 18,2507 | 24,5197 | 0,00104 | 30,789 | 0,000245 |
| 5,8513 | 5,8513 | 12,1206 | 12,1206 | 18,3898 | 18,3896 | 24,6591 | 0,000954 | 30,9283 | 0,000245 |
| 5,99062 | 5,99062 | 12,2599 | 12,2599 | 18,5291 | 18,5294 | 24,7984 | 0,000881 | 31,0676 | 0,000244 |
| 6,12994 | 6,12993 | 12,3992 | 12,3992 | 18,6684 | 18,6682 | 24,9377 | 0,000817 | 31,207 | 0,000244 |

Таблица 6. Значения фазо-частотной характеристики

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| w(1-45) | F(w) (1-45) | w (46-90) | F(w) (46-90) | w (91-135) | F(w) (91-135) | w (136-180) | F(w) (136-180) | w (181-225) | F(w) (181-225) |
| 0 | 1,5708 | 6,26925 | -139,487 | 12,5385 | -280,546 | 18,8078 | -421,604 | 25,077 | -562,662 |
| 0,139317 | -1,56383 | 6,40857 | -142,622 | 12,6778 | -283,68 | 18,9471 | -424,738 | 25,2163 | -565,797 |
| 0,278633 | -4,69846 | 6,54789 | -145,757 | 12,8171 | -286,815 | 19,0864 | -427,873 | 25,3556 | -568,931 |
| 0,41795 | -7,83308 | 6,6872 | -148,891 | 12,9565 | -289,949 | 19,2257 | -431,008 | 25,495 | -572,066 |
| 0,557267 | -10,9677 | 6,82652 | -152,026 | 13,0958 | -293,084 | 19,365 | -434,142 | 25,6343 | -575,201 |
| 0,696584 | -14,1023 | 6,96584 | -155,161 | 13,2351 | -296,219 | 19,5043 | -437,277 | 25,7736 | -578,335 |
| 0,8359 | -17,237 | 7,10515 | -158,295 | 13,3744 | -299,353 | 19,6437 | -440,412 | 25,9129 | -581,47 |
| 0,975217 | -20,3716 | 7,24447 | -161,43 | 13,5137 | -302,488 | 19,783 | -443,546 | 26,0522 | -584,604 |
| 1,11453 | -23,5062 | 7,38379 | -164,564 | 13,653 | -305,623 | 19,9223 | -446,681 | 26,1915 | -587,739 |
| 1,25385 | -26,6408 | 7,5231 | -167,699 | 13,7924 | -308,757 | 20,0616 | -449,815 | 26,3309 | -590,874 |
| 1,39317 | -29,7755 | 7,66242 | -170,834 | 13,9317 | -311,892 | 20,2009 | -452,95 | 26,4702 | -594,008 |
| 1,53248 | -32,9101 | 7,80174 | -173,968 | 14,071 | -315,027 | 20,3402 | -456,085 | 26,6095 | -597,143 |
| 1,6718 | -36,0447 | 7,94105 | -177,103 | 14,2103 | -318,161 | 20,4796 | -459,219 | 26,7488 | -600,278 |
| 1,81112 | -39,1794 | 8,08037 | -180,238 | 14,3496 | -321,296 | 20,6189 | -462,354 | 26,8881 | -603,412 |
| 1,95043 | -42,314 | 8,21969 | -183,372 | 14,4889 | -324,43 | 20,7582 | -465,489 | 27,0274 | -606,547 |
| 2,08975 | -45,4486 | 8,359 | -186,507 | 14,6283 | -327,565 | 20,8975 | -468,623 | 27,1668 | -609,681 |
| 2,22907 | -48,5832 | 8,49832 | -189,641 | 14,7676 | -330,7 | 21,0368 | -471,758 | 27,3061 | -612,816 |
| 2,36838 | -51,7179 | 8,63764 | -192,776 | 14,9069 | -333,834 | 21,1761 | -474,892 | 27,4454 | -615,951 |
| 2,5077 | -54,8525 | 8,77696 | -195,911 | 15,0462 | -336,969 | 21,3155 | -478,027 | 27,5847 | -619,085 |
| 2,64702 | -57,9871 | 8,91627 | -199,045 | 15,1855 | -340,104 | 21,4548 | -481,162 | 27,724 | -622,22 |
| 2,78633 | -61,1217 | 9,05559 | -202,18 | 15,3248 | -343,238 | 21,5941 | -484,296 | 27,8633 | -625,355 |
| 2,92565 | -64,2564 | 9,19491 | -205,315 | 15,4642 | -346,373 | 21,7334 | -487,431 | 28,0027 | -628,489 |
| 3,06497 | -67,391 | 9,33422 | -208,449 | 15,6035 | -349,507 | 21,8727 | -490,566 | 28,142 | -631,624 |
| 3,20429 | -70,5256 | 9,47354 | -211,584 | 15,7428 | -352,642 | 22,012 | -493,7 | 28,2813 | -634,758 |
| 3,3436 | -73,6602 | 9,61286 | -214,718 | 15,8821 | -355,777 | 22,1514 | -496,835 | 28,4206 | -637,893 |
| 3,48292 | -76,7949 | 9,75217 | -217,853 | 16,0214 | -358,911 | 22,2907 | -499,969 | 28,5599 | -641,028 |
| 3,62224 | -79,9295 | 9,89149 | -220,988 | 16,1607 | -362,046 | 22,43 | -503,104 | 28,6992 | -644,162 |
| 3,76155 | -83,0641 | 10,0308 | -224,122 | 16,3001 | -365,181 | 22,5693 | -506,239 | 28,8386 | -647,297 |
| 3,90087 | -86,1988 | 10,1701 | -227,257 | 16,4394 | -368,315 | 22,7086 | -509,373 | 28,9779 | -650,432 |
| 4,04019 | -89,3334 | 10,3094 | -230,392 | 16,5787 | -371,45 | 22,8479 | -512,508 | 29,1172 | -653,566 |
| 4,1795 | -92,468 | 10,4488 | -233,526 | 16,718 | -374,584 | 22,9873 | -515,643 | 29,2565 | -656,701 |
| 4,31882 | -95,6026 | 10,5881 | -236,661 | 16,8573 | -377,719 | 23,1266 | -518,777 | 29,3958 | -659,835 |
| 4,45814 | -98,7373 | 10,7274 | -239,795 | 16,9966 | -380,854 | 23,2659 | -521,912 | 29,5352 | -662,97 |
| 4,59745 | -101,872 | 10,8667 | -242,93 | 17,136 | -383,988 | 23,4052 | -525,047 | 29,6745 | -666,105 |
| 4,73677 | -105,007 | 11,006 | -246,065 | 17,2753 | -387,123 | 23,5445 | -528,181 | 29,8138 | -669,239 |
| 4,87609 | -108,141 | 11,1453 | -249,199 | 17,4146 | -390,258 | 23,6838 | -531,316 | 29,9531 | -672,374 |
| 5,0154 | -111,276 | 11,2847 | -252,334 | 17,5539 | -393,392 | 23,8232 | -534,45 | 30,0924 | -675,509 |
| 5,15472 | -114,41 | 11,424 | -255,469 | 17,6932 | -396,527 | 23,9625 | -537,585 | 30,2317 | -678,643 |
| 5,29404 | -117,545 | 11,5633 | -258,603 | 17,8325 | -399,661 | 24,1018 | -540,72 | 30,3711 | -681,778 |
| 5,43335 | -120,68 | 11,7026 | -261,738 | 17,9719 | -402,796 | 24,2411 | -543,854 | 30,5104 | -684,912 |
| 5,57267 | -123,814 | 11,8419 | -264,872 | 18,1112 | -405,931 | 24,3804 | -546,989 | 30,6497 | -688,047 |
| 5,71199 | -126,949 | 11,9812 | -268,007 | 18,2505 | -409,065 | 24,5197 | -550,124 | 30,789 | -691,182 |
| 5,8513 | -130,084 | 12,1206 | -271,142 | 18,3898 | -412,2 | 24,6591 | -553,258 | 30,9283 | -694,316 |
| 5,99062 | -133,218 | 12,2599 | -274,276 | 18,5291 | -415,335 | 24,7984 | -556,393 | 31,0676 | -697,451 |
| 6,12994 | -136,353 | 12,3992 | -277,411 | 18,6684 | -418,469 | 24,9377 | -559,527 | 31,207 | -700,586 |

*Графики*



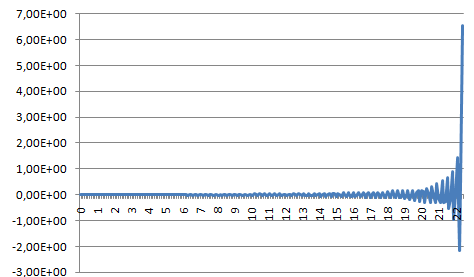


Рисунок 2. График импульсной характеристики

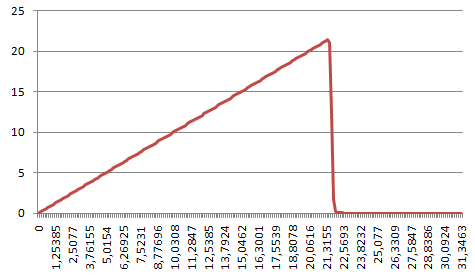


Рисунок 3. График амплитудно-частотной характеристики

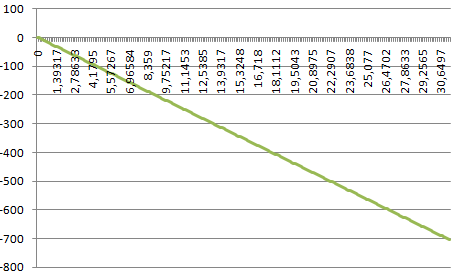


Рисунок 4. График фазо-частотной характеристики

*Выводы:*

В ходе выполнения расчётно-графической работы был спроектирован дифференцирующий фильтр, АЧХ со следующими параметрами: коэффициент усиления =1,5 при заданном 1,5; верхняя граничная частота =21,03 р/с при заданной 21 р/с, ширина переходной полосы =0,9 р/с при заданной 1 р/с; неравномерности в полосах пропускания и задерживания 0,001 при заданных 0,01. Таким образом, фильтр в целом удовлетворяет заданным параметрам.

ФЧХ имеет линейную зависимость. Фазовая задержка фильтра равна

Τϕ=-ϕ(ω)/ω=22,3c

Код программы:

#include <iostream>

#include <cmath>

#include <fstream>

using namespace std;

const int L = 225;

const double PI = 3.141592653589793;

int main()

{

double dwp = 1.5;

double Omega\_F = 21;

double dt = 0.1;

double kf = 1.5;

double sigma[L];

double Omega\_P = Omega\_F + dwp / 2;

double wB = PI / dt;

int N = 2 \* L + 1;

double w = 2 \* PI / (N \* dt);

double Omega\_Z = Omega\_P \* dt;

double wl = 0;

ofstream outf("out.txt");

for (int k = 0; k < L; k++) // Расчет значений сглаживающих множителей

{

sigma[k] = sin(k \* PI / L) / (k \* PI / L);

outf << sigma[k] << endl;

}

cout << endl;

double wk[L];

double rk;

outf << "k: " << endl;

for (int k = 0; k < L; k++)

{

outf << k << endl;

}

outf << "WK: " << endl;

for (int k = 0; k < L; k++) // Расчет значений импульсной характеристики

{

rk = sigma[L - k] \* wB / (((L - k) \* PI) \* ((L - k) \* PI));

wk[k] = rk \* (sin((L - k) \* Omega\_Z) - ((L - k) \* Omega\_Z \* cos((L - k) \* Omega\_Z)));

outf << wk[k] << endl;

}

double sum;

outf << "w: " << endl;

for (double i = 0; i < wB; i += w) // Расчет значений частоты с шагом

{

outf << i << endl;

}

outf << "A(w): " << endl;

for (double i = 0; i < wB; i += w) // Расчет значений АЧХ

{

sum = 0;

for (int k = 1; k < L; k++) {

sum += wk[L - k] \* sin(k \* dt \* i);

}

outf << abs(2 \* sum) << endl;

}

outf << "F(w): " << endl; // Расчет значений ФЧХ

for (double i = 0; i < wB; i += w)

{

outf << PI / 2 - L \* dt \* i << endl;

}

}