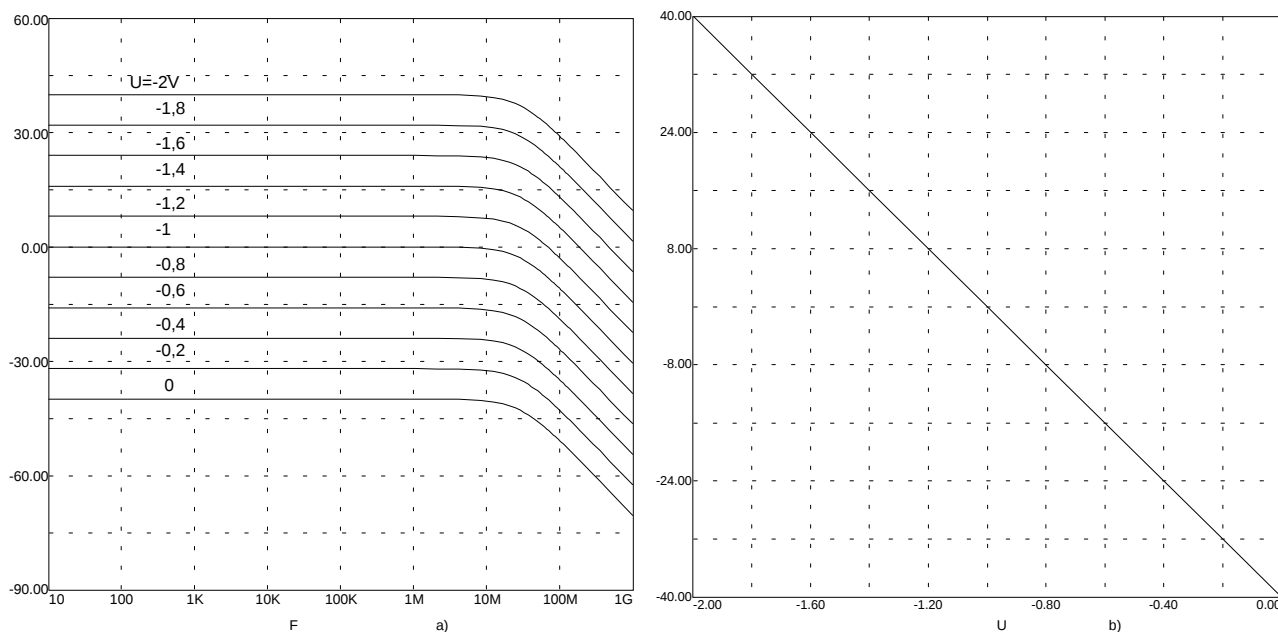


Výsledky simulace s použitím modelů SPICE

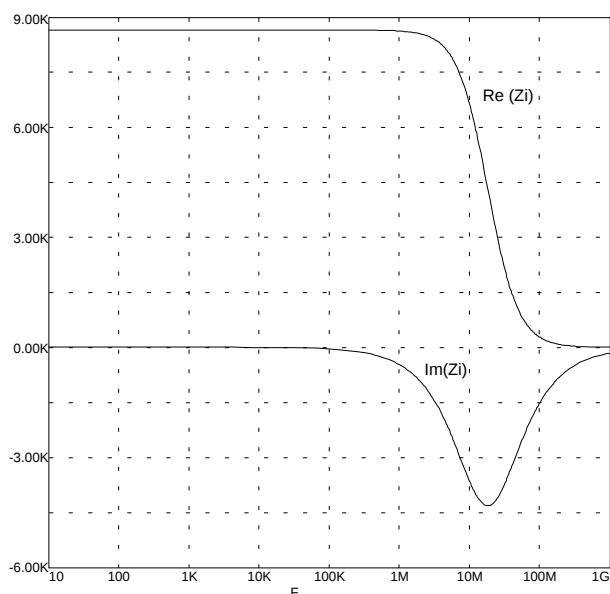
Vlastnosti modelu VCA610

Na obr. 15 je ukázka vlastností modelu SPICE obvodu VCA610. Model byl vytvořen výrobcem zesilovače firmou Burr Brown. Zesílení v decibelech je prakticky lineární funkcí řídicího napětí U v rozmezí 80dB pro napětí v intervalu od $\pm 2V$ do $0V$. Kmitočet třidecibelového poklesu je nezávislý na nastaveném zesílení a je zhruba 30MHz.



Obr. 15. a) kmitočtová charakteristika VCA610 pro různá řídicí napětí, b) závislost DC zesílení na řídicím napětí.

Určitou nesrovnalostí je, že ačkoliv v katalogových listech [1] je uváděna vstupní impedance $1M\Omega/1pF$, model vykazuje podstatně menší odporovou složku (asi $8,65k\Omega$), která s rostoucím kmitočtem klesá (viz obr. 16).

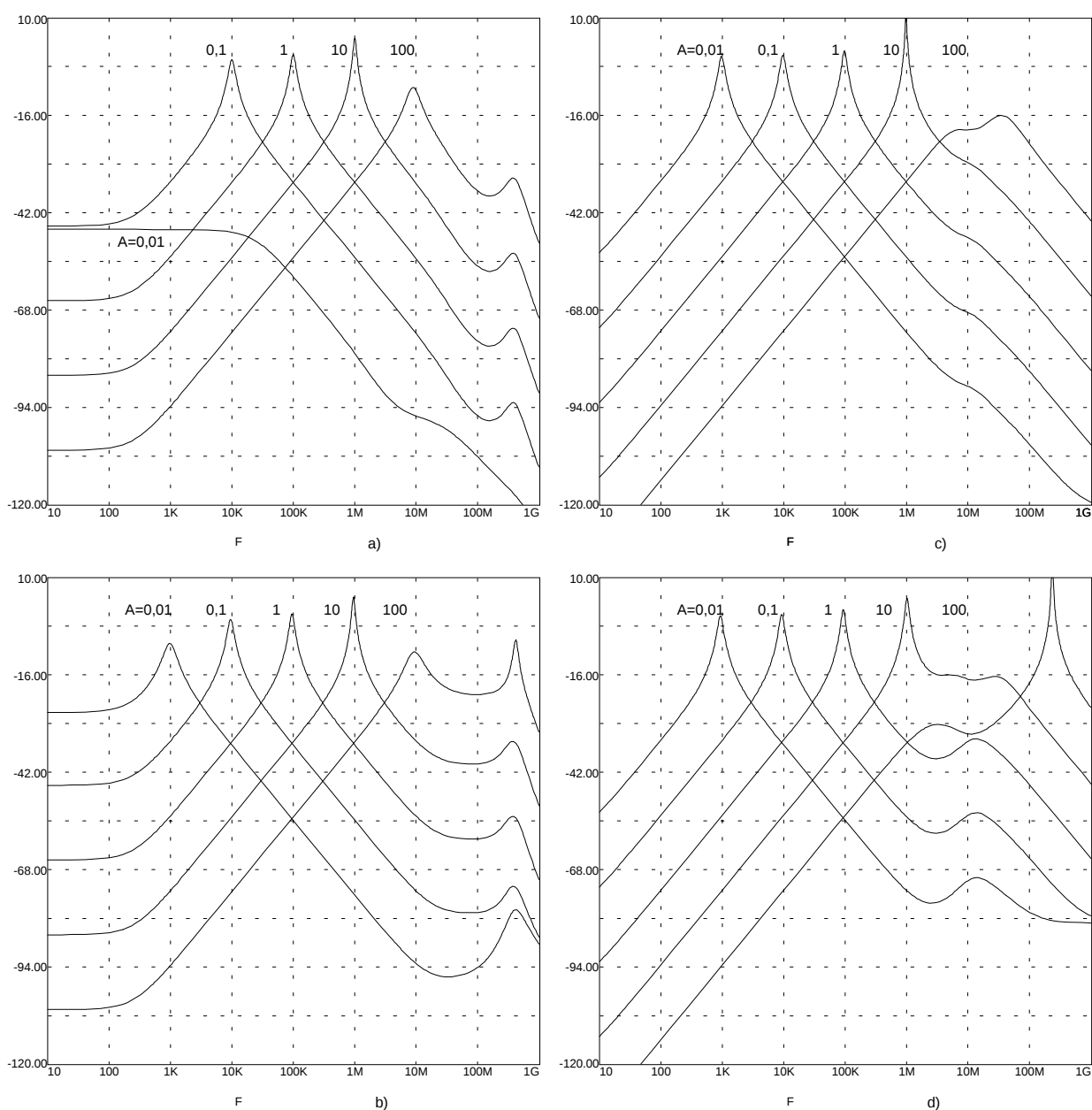


Obr. 16. Kmitočtový průběh vstupní impedance VCA610 podle SPICE modelu. Průběh je stejný pro neinvertující i invertující vstup.

Protože VCA610 je v našich aplikacích buzen vždy z nízkoimpedančního výstupu operačního zesilovače, neměla by tato nesrovnalost být na závalu. Model vykazuje frekvenčně nezávislý výstupní odpor 10Ω , což je podezřelé.

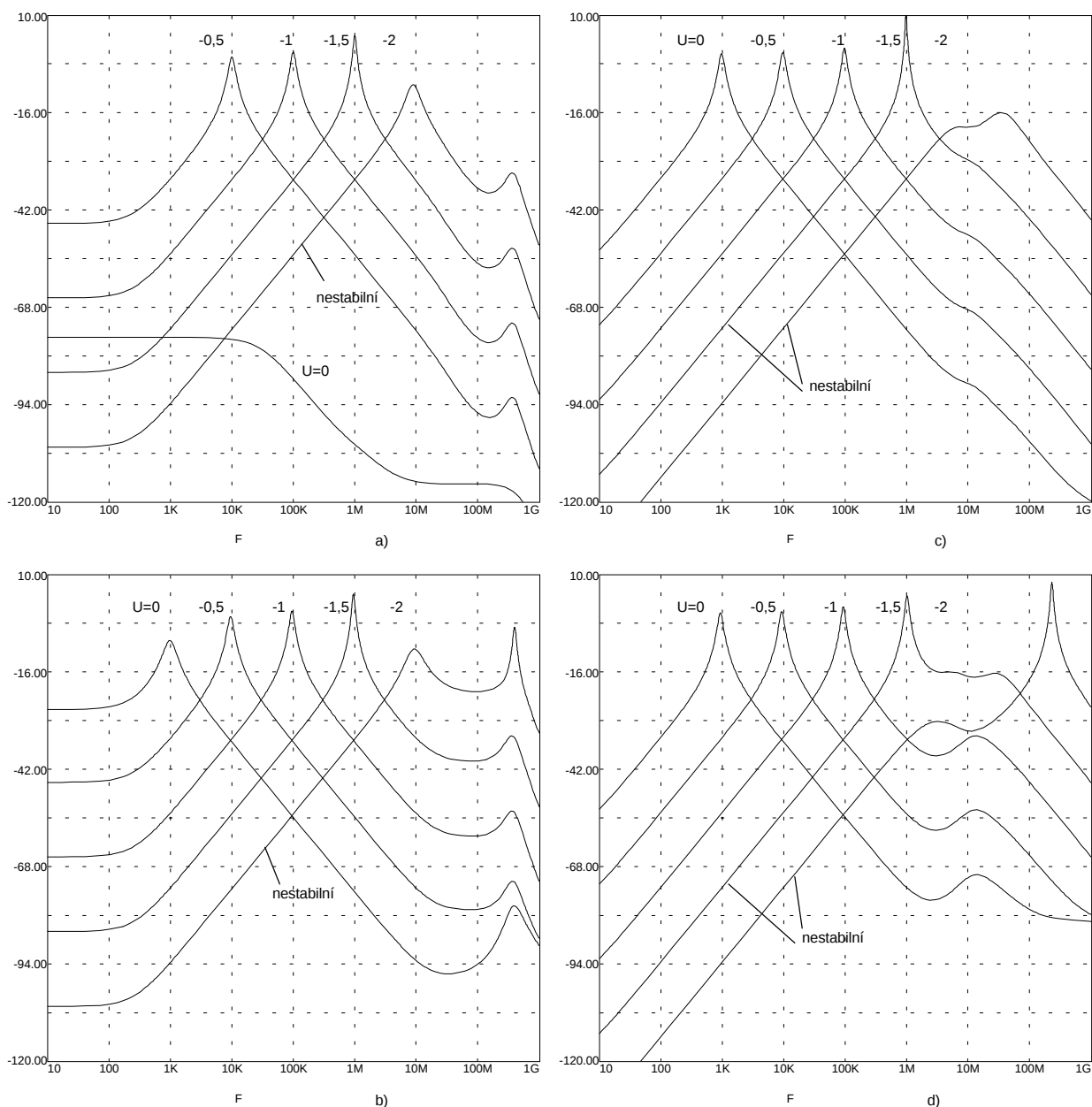
Modelování filtru z obr. 3 – ladění beze změny Q

Na obr. 17 jsou výsledky smíšeného modelování, kdy pro operační zesilovače jsou použity modely SPICE, ale řízené zesilovače jsou modelovány jednopólovými modely. Srovnání s obr. 11, kde jsou výsledky analýzy nad jednopólovými modely, nám umožní sledovat reálné vlivy operačních zesilovačů CLC420 a NE5532. Kromě toho jsou připojeny kmitočtové charakteristiky po provedení změny impedanční úrovně, spočívající v desetinásobném zmenšení pracovních odporů a v desetinásobném zvětšení pracovních kapacit.



Obr. 17. Modelování filtru z obr. 3. Kombinace SPICE modelů CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a jednopólových modelů VCA610. Běžné hodnoty součástek (a,c), impedanční normování – odpory desetkrát menší a kapacity desetkrát větší (b,d).

Po srovnání s obr. 11 můžeme konstatovat až na jednu výjimku velmi dobrou shodu výsledků v kmitočtovém pásmu do 100MHz. Na vyšších kmitočtech se již projevují reálné vlastnosti operačních zesilovačů, které nejsou zahrnuty do jejich jednoduchých jednopólových modelů. Určitou anomálii představuje charakteristika pro $A=0,01$ na obr. a) (pro CLC420), kdy zcela vymizel vrchol přenosu. Tento jev zřejmě nelze modelovat jednopólovým modelem operačních zesilovačů. Souvisí s volbou impedanční úrovně, jak ukazuje obr. b), a s volbou typu operačního zesilovače (obr. c). U zesilovače NE5532 se tento efekt neprojevuje. Dalším poznatkem je, že snížení impedanční úrovně, jakož i volba operačního zesilovače s vysokým výstupním odporem posouvají filtr blíže k oblasti nestability.



Obr. 18. Modelování filtru z obr. 3. Kompletní SPICE modely CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a VCA610. Běžné hodnoty součástek (a,c), impedanční normování – odpory desetkrát menší a kapacity desetkrát větší (b,d).

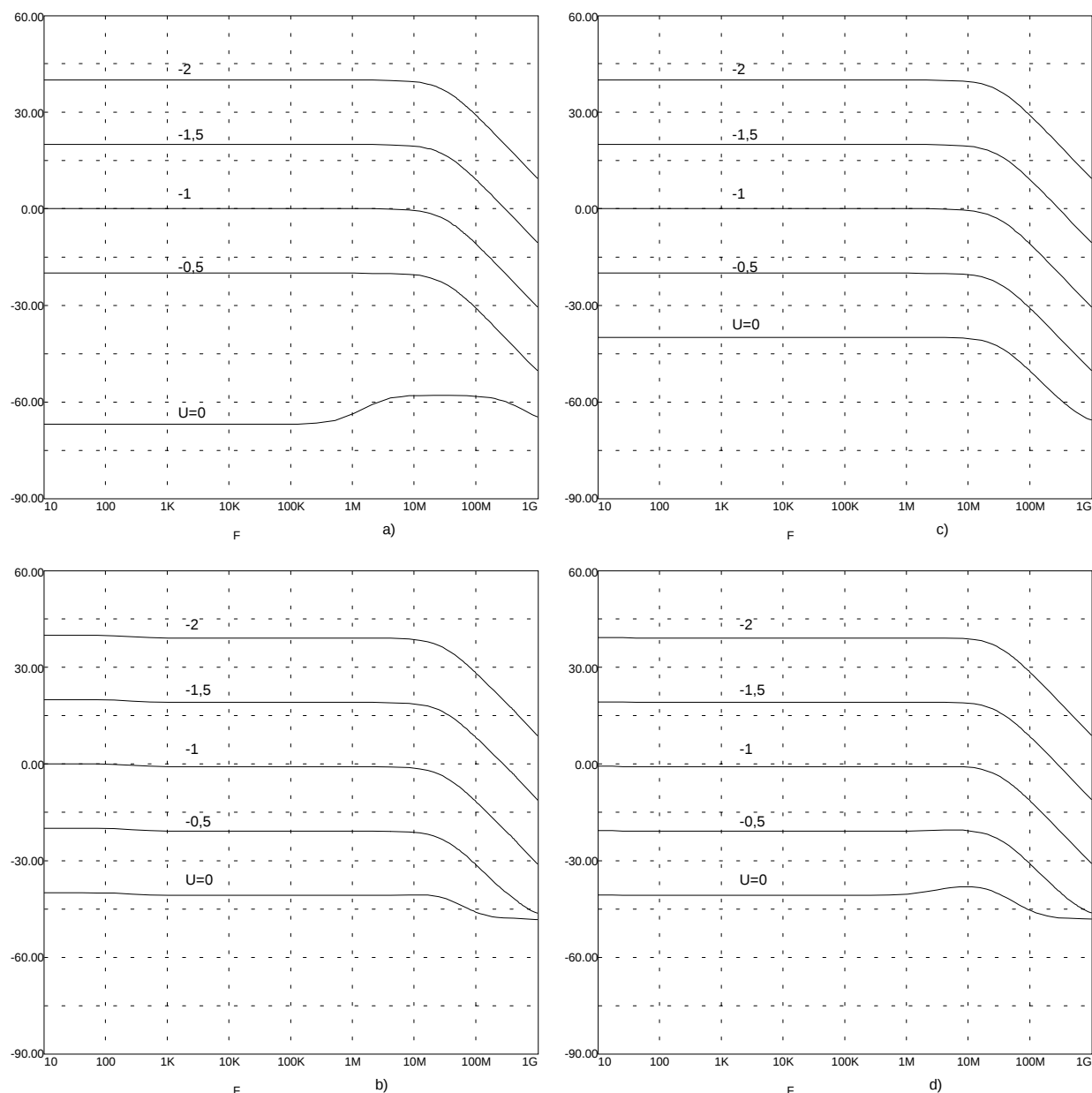
Na obr. 18 vidíme výsledky modelování s plným využitím modelů SPICE, které se velmi dobře shodují s obr. 17 s již diskutovanou výjimkou hraniční křivky pro $U=0$, resp. $A=0,01$ u obr. a). Zmíněný efekt potlačení vrcholu přenosu je zde ještě výraznější.

Pro pozdější zkoumání těchto anomálií mohou být užitečné obrázky 19 a 20. Jsou na nich uvedeny přenosy napětí zesilovačů VCA610 č.1 (na obr. 3 první zleva) a č.2 (na obr. 3 druhý zleva). Napětí

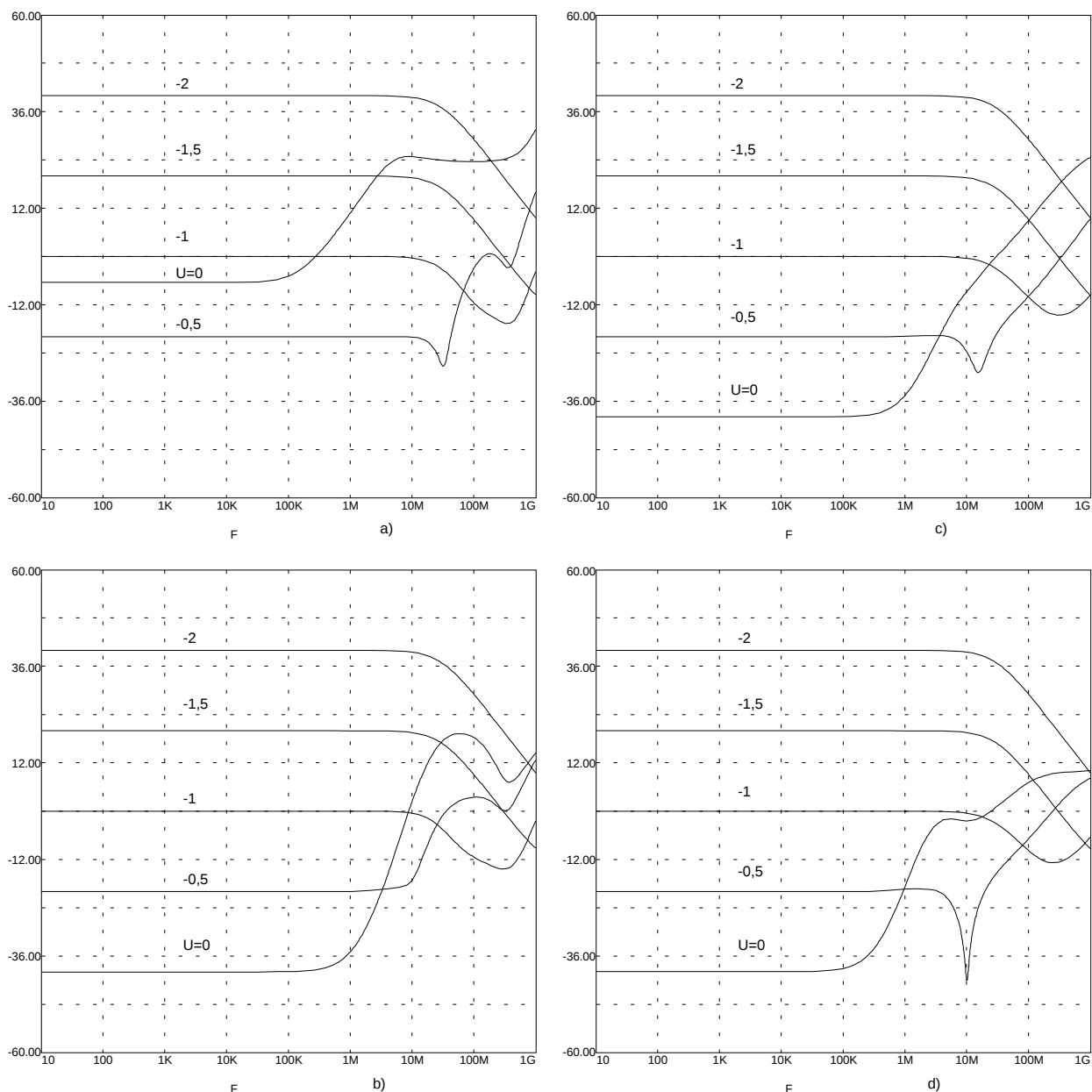
jsou snímána na vstupních a výstupních svorkách zesilovačů včleněných do filtru, je tedy zohledněno jejich zatěžování ostatními obvody.

Z obrázků je jasné vidět, že pro hraniční hodnotu řídicího napětí $U=0V$ dochází k značné změně průběhu zesílení oproti stavu bez zátěže (viz srovnání s obr. 15a).

Dílčí závěr: smíšené a SPICE modelování poskytují prakticky shodné výsledky až na efekt potlačení vrcholu přenosu pro nízké hodnoty řízeného zesílení A.



Obr. 19. Průběhy zesílení obvodu VCA610 č.1: s operačními zesilovači ve filtru CLC420 (a,b), NE5532 (c,d), bez změny impedanční úrovně (a,c), se změnou impedanční úrovně (b,d).



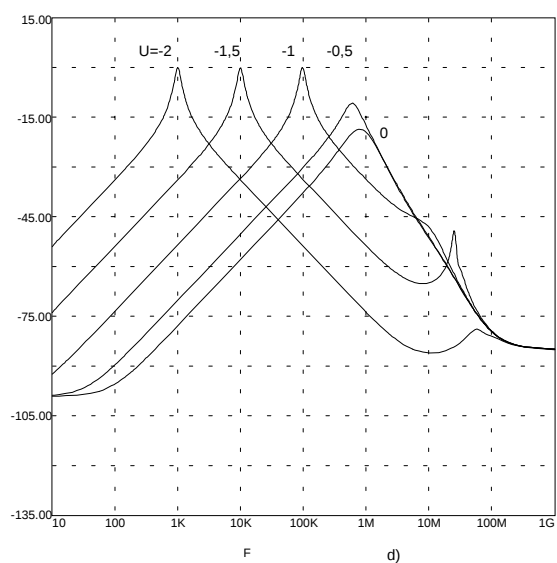
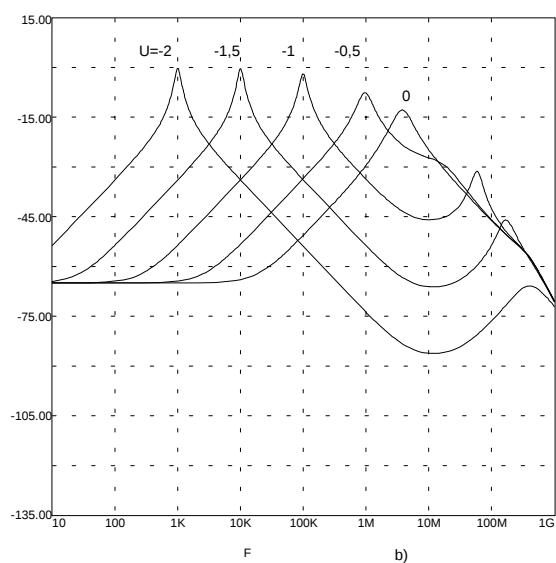
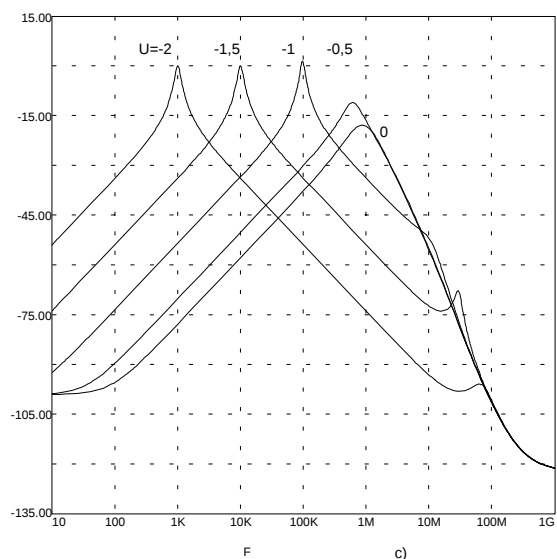
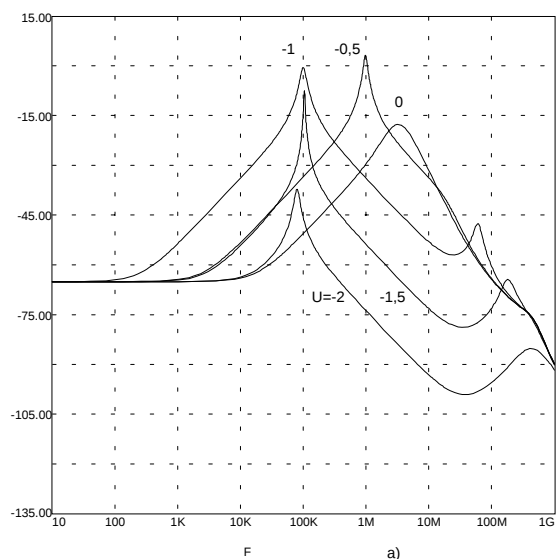
Obr. 20. Průběhy zesílení obvodu VCA610 č.2: s operačními zesilovači ve filtru CLC420 (a,b), NE5532 (c,d), bez změny impedanční úrovně (a,c), se změnou impedanční úrovně (b,d).

Modelování filtru z obr. 5 – druhá metoda ladění beze změny Q

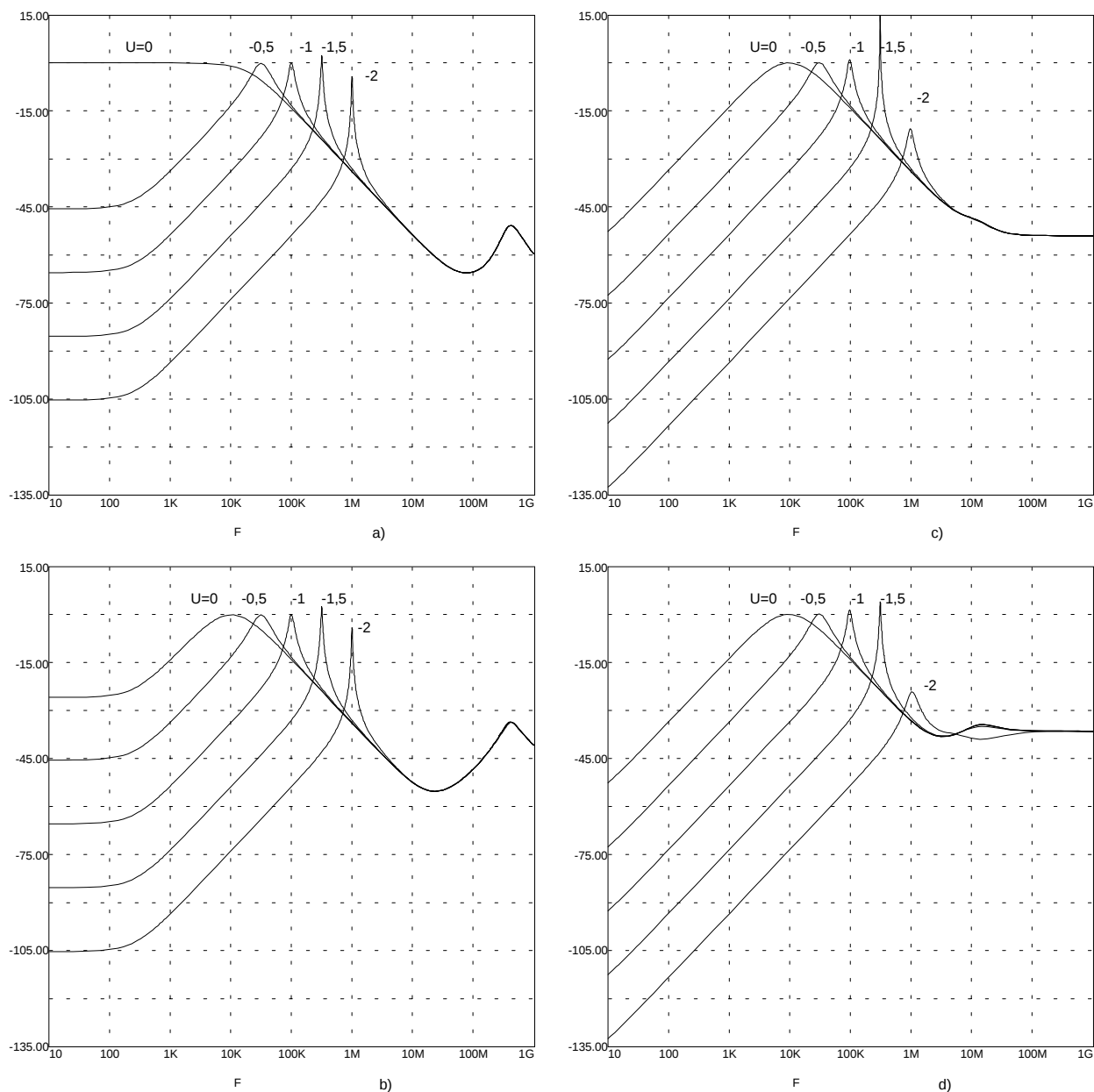
Výsledky analýzy pomocí modelů SPICE jsou na obr. 21. Po srovnání s jednopólovou analýzou z obr. 12 zjišťujeme velmi dobrou shodu u varianty se zesilovačem NE5532. U operačního zesilovače CLC420 dochází pro řídicí napětí $U = -1,5V$ a $-2V$ k zásadní deformaci charakteristiky – vrchol křivky se již neposouvá po frekvenční ose. Jak je vidět z obr. b), tento jev lze snadno eliminovat snížením impedanční úrovně. Příčina bude zřejmě obdobná jako u předchozího efektu zploštění vrcholu.

Modelování filtru z obr. 7 – řízení ω_0 při konstantním B

Po porovnání obr. 22 a 13 zjišťujeme dobrou shodu s výjimkou charakteristiky pro $U = 0V$ u varianty s operačním zesilovačem CLC420 (obr. 22a), kdy opět dochází k potlačení vrcholu přenosu. Daný efekt lze opět eliminovat snížením impedanční úrovně.



Obr. 21. Modelování filtru z obr. 5. Kompletní SPICE modely CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a VCA610. Běžné hodnoty součástek (a,c), impedanční normování – odpory desetkrát menší a kapacity desetkrát větší (b,d).

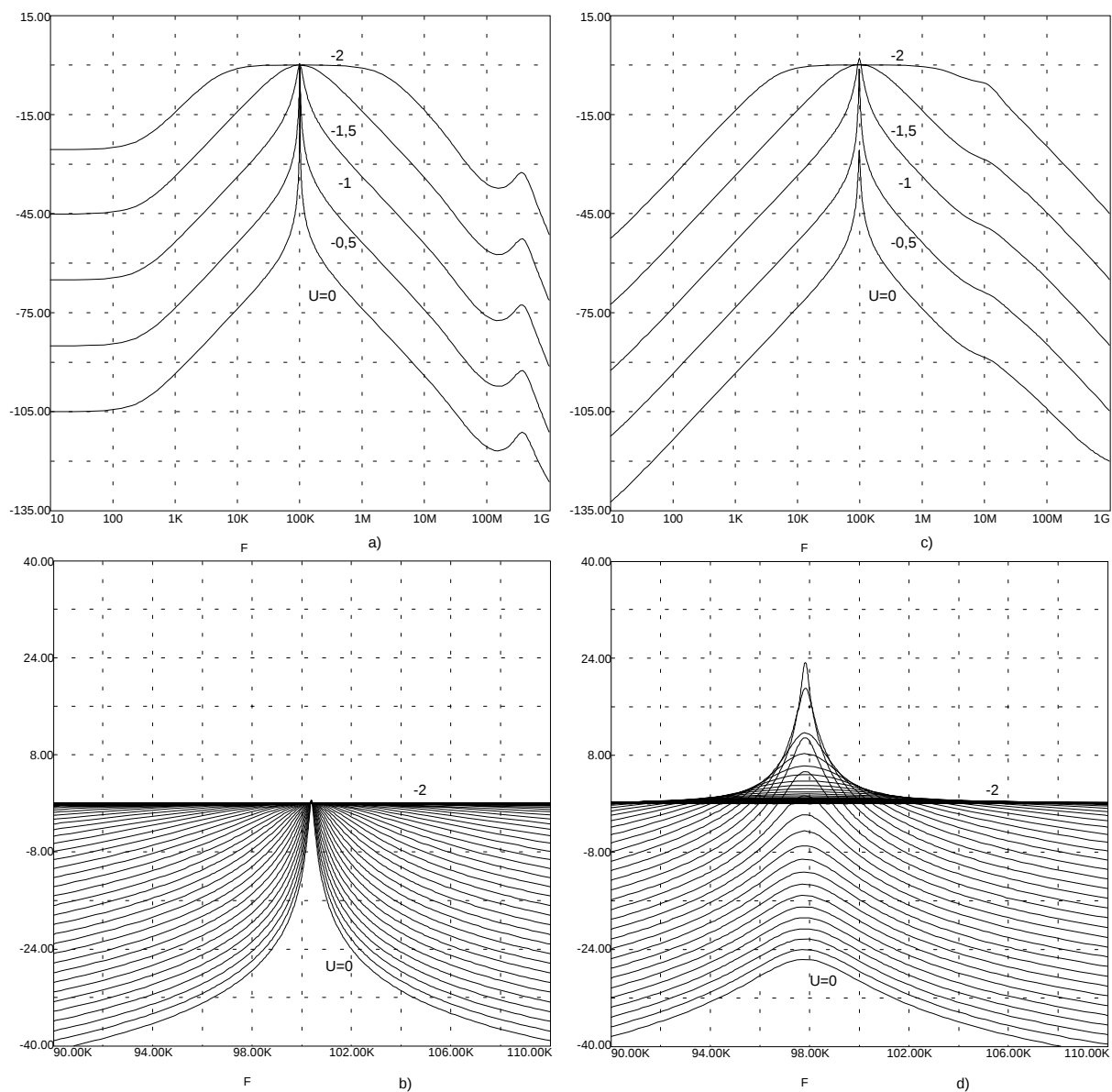


Obr. 22. Modelování filtru z obr. 7. Kompletní SPICE modely CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a VCA610. Běžné hodnoty součástek (a,c), impedanční normování – odpory desetkrát menší a kapacity desetkrát větší (b,d).

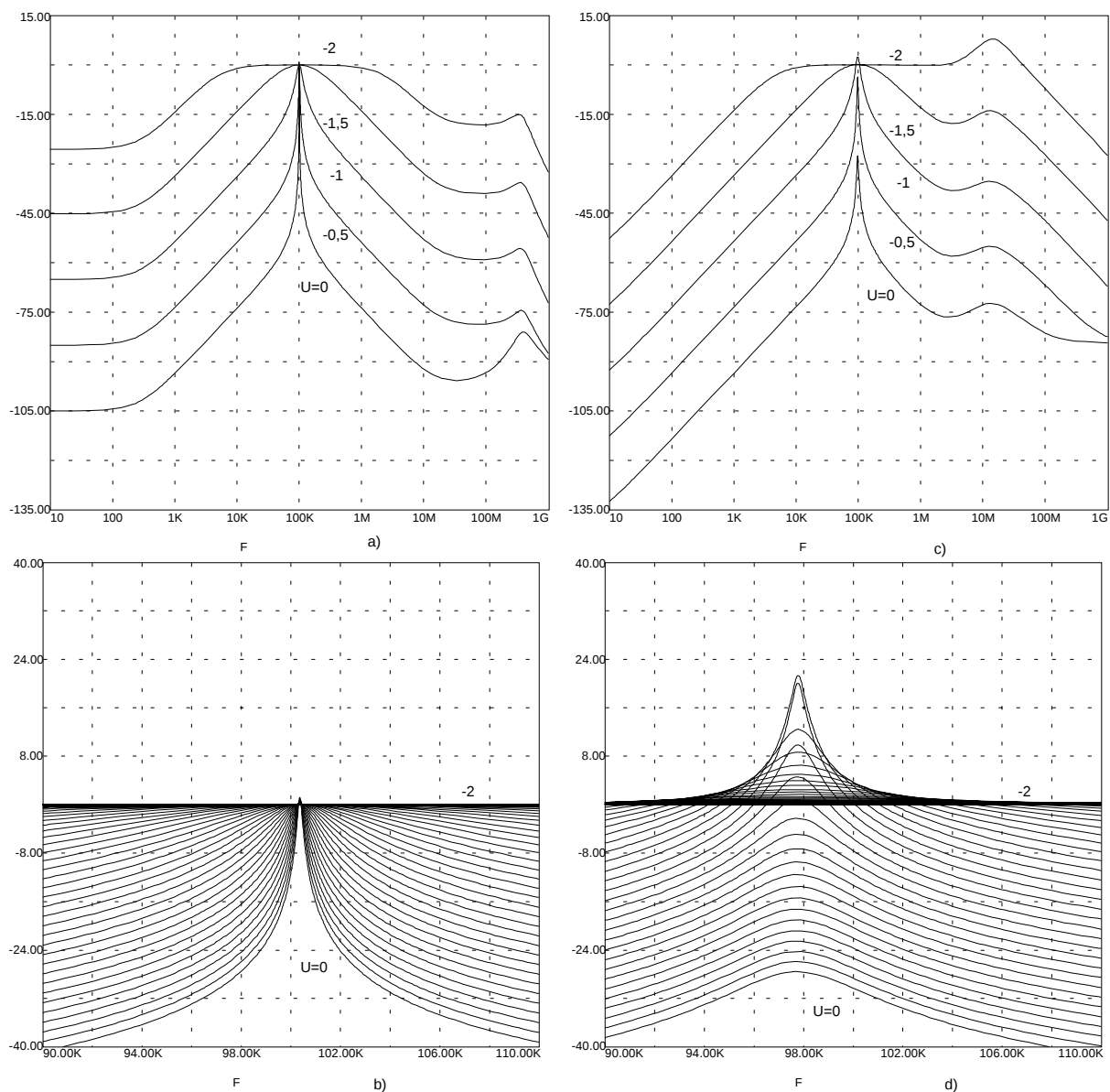
Modelování filtru z obr. 9 – nastavování Q , resp. B při konstantním ω_0

Po porovnání obr. 23 a,c, resp. 24 a,c a 14 zjišťujeme velmi dobrou shodu. Detaily křivek v okolí maxim potvrzují, že použití operačního zesilovače NE5532 je v této aplikaci zcela nevhodné. Hustější krokování řídicího napětí by vedlo k maximálním přenosům nad 30dB. Změna impedanční úrovně tento jev neovlivní.

Konečný závěr: Pro studium podstatných reálných vlivů je analýza založená na jednopólovém modelování rovnocenná s analýzou na úrovni SPICE modelů. Výjimku tvoří anomální jevy při hraničních hodnotách řízeného zesílení.



Obr. 23. Modelování filtru z obr. 9. Kompletní SPICE modely CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a VCA610. Filtr v obou případech stabilní pro všechna zesílení. Na obr. b) a d) jsou detaily křivek z obr. a) a c) v okolí lokálních maxim.



Obr. 24. Modelování filtru z obr. 9. Kompletní SPICE modely CLC420 (a,b), NE5532 (c,d) a VCA610. Filtr v obou případech stabilní pro všechna zesílení. Na obr. b) a d) jsou detaily křivek z obr. a) a c) v okolí lokálních maxim. Oproti obr. 23 je provedeno desetinasobné snížení impedanční úrovně.