



Vojenský výzkumný ústav, s. p.
Veslařská 230, 637 00 Brno

Číslo protokolu: SSEM/007/2022-VVÚ

Počet stran: 9

Přílohy: 0

PROTOKOL O ZKOUŠCE

Zkouška stanovení útlumových vlastností - průchod - v pásmu 2 až 18 GHz a 4 až 40 GHz

Zadavatel: VVÚ s. p., Veslařská 230, 637 00 Brno

Typ vzorku:

Plošný kompozitní materiál

Označení vzorku:

Vz. 4/2022 (ve výsledcích značeno „V4T“ a „V4T40“),

Vz. 5/2022 (ve výsledcích značeno „V5T“ a „V5T40“),

Vz. 6/2022 (ve výsledcích značeno „V6T“ a „V6T40“),

Vz. 8/2022 (ve výsledcích značeno „V8T“ a „V8T40“).

Místo zkoušky: Vojenský výzkumný ústav, s. p.

Veslařská 230, 637 00 Brno

Skupina maskování a klamání

Laboratoř elektromagnetického záření

Zkouška provedena dne: 2. 3. 2022

Použité přístroje a vybavení:

Měřicí mikrovlnná trasa pro vyhodnocování průchodu elektromagnetického záření ve frekvenčním pásmu 2 GHz - 18 GHz a měřicí mikrovlnná trasa pro vyhodnocování průchodu elektromagnetického záření ve frekvenčním pásmu 4 GHz - 40 GHz, vektorový analyzátor Anritsu 37369C, vysílací a přijímací antény.

Příprava vzorků:

Při měření byly použity vzorky plošného kompozitního materiálu dodané zadavatelem. Zkoušení bylo provedeno nedestruktivní metodou. Měřený vzorek byl vždy instalován na měřicí přípravek (rám) tak, aby po vložení rámu do měřicí trasy byl měřený vzorek umístěn svou plochou kolmo k ose měřicího mikrovlnného svazku a tak, aby měřicí mikrovlnný svazek dopadal na plochu měřeného vzorku (takto měřené vzorky mají ve výsledcích označení s identifikátorem T pro měření ve frekvenčním pásmu 2 GHz - 18 GHz respektive T40 pro měření ve frekvenčním pásmu 4 GHz - 40 GHz).

Zkouška:

Byla provedena specifická kalibrační technika ("Thru-Reflect-Match"- TRM) určená pro měřicí systémy ve volném prostoru, která spočívá v postupném měření tří kalibračních standardů o známých parametrech (standard THRU - volný prostor, standard REFLECT - kovová deska a standard MATCH - oboustranný absorbční panel), takže aparatura byla následně schopna přesně kvantifikovat neznámé parametry měřeného vzorku.

Po provedení kalibrace měřicí trasy byl měřený vzorek instalovaný na měřicím rámu ozářen elektromagnetickým zářením frekvenčního rozsahu 2 GHz - 18 GHz respektive frekvenčního rozsahu 4 GHz - 40 GHz a bylo analyzováno množství záření prošlého měřeným vzorkem.

Signál generovaný vektorovým analyzátozem byl vyzařován do volného prostoru pomocí antény schopné pracovat v režimu vysílání i příjmu. Elektromagnetické záření se dále šířilo podél osy měřicí trasy směrem k měřenému vzorku, který byl umístěn kolmo k ose vyzařovaného svazku. V ose měřicí trasy za vzorkem byla umístěna druhá anténa pracující v čistě přijímacím režimu, která zachytávala případný signál procházející skrz vzorek, a ten byl dále přiváděn do vektorového analyzátoru ke zpracování.

Při zpracování signálů byla využívána metoda časového filtrování zpracovávaného signálu (Time-domain gating), jejíž hlavní myšlenkou je, že nežádoucí signály, pocházející z jiných zdrojů než z prvotní interakce měřicího záření s měřeným vzorkem, jsou detekovány přijímací anténou v rozdílných časových intervalech než měřené signály a použitý časový filtr umožňuje měřit jen v časových intervalech příslušných měřeným signálům a rušící signály eliminovat.

Množství záření prošlého měřeným vzorkem bylo kvantifikováno pomocí fyzikální veličiny „vložený útlum na průchod“ – ILT (v decibelech) vyjádřené v závislosti na frekvenci v rámci měřicího rozsahu a popisující poměr signálu prošlého měřeným vzorkem k signálu prošlému volným prostorem.

▪ Určení spektrálního vloženého útlumu na průchod

$$ILT = 20 \log \frac{S_{21sample}}{S_{21ref}} \quad [\text{dB}]$$

ILT vložený útlum na průchod

S_{21sample} ..velikost koeficientu průchodu pro měřený vzorek (signál prošlý měřeným vzorkem)

S_{21ref}velikost koeficientu průchodu pro referenční vrstvu (signál prošlý volným prostorem)

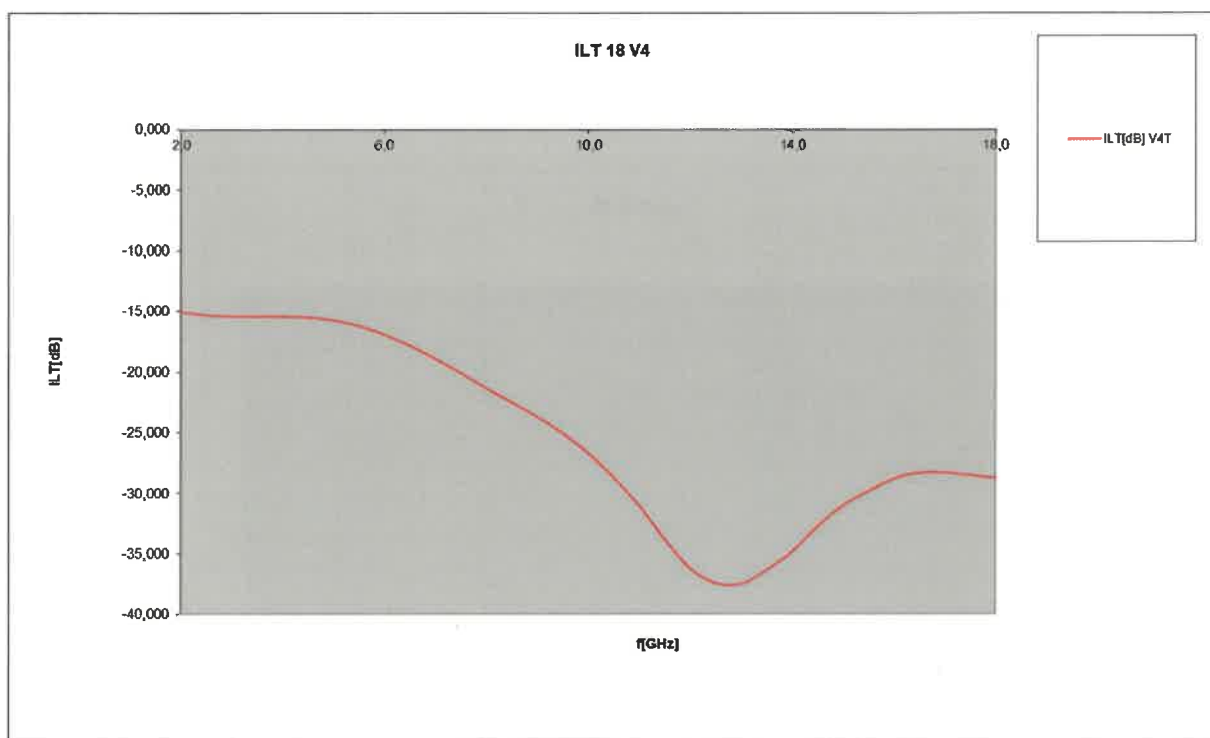
Použitá metoda měření využívá následující interpretace výsledků měření:

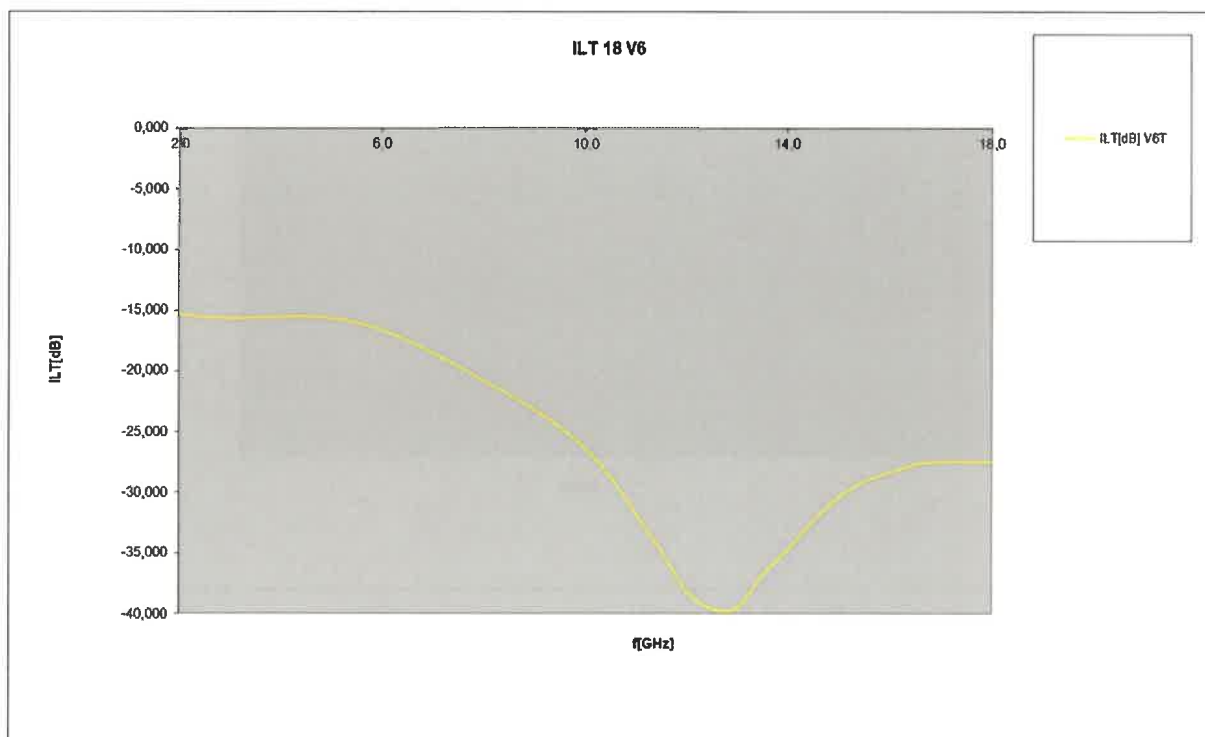
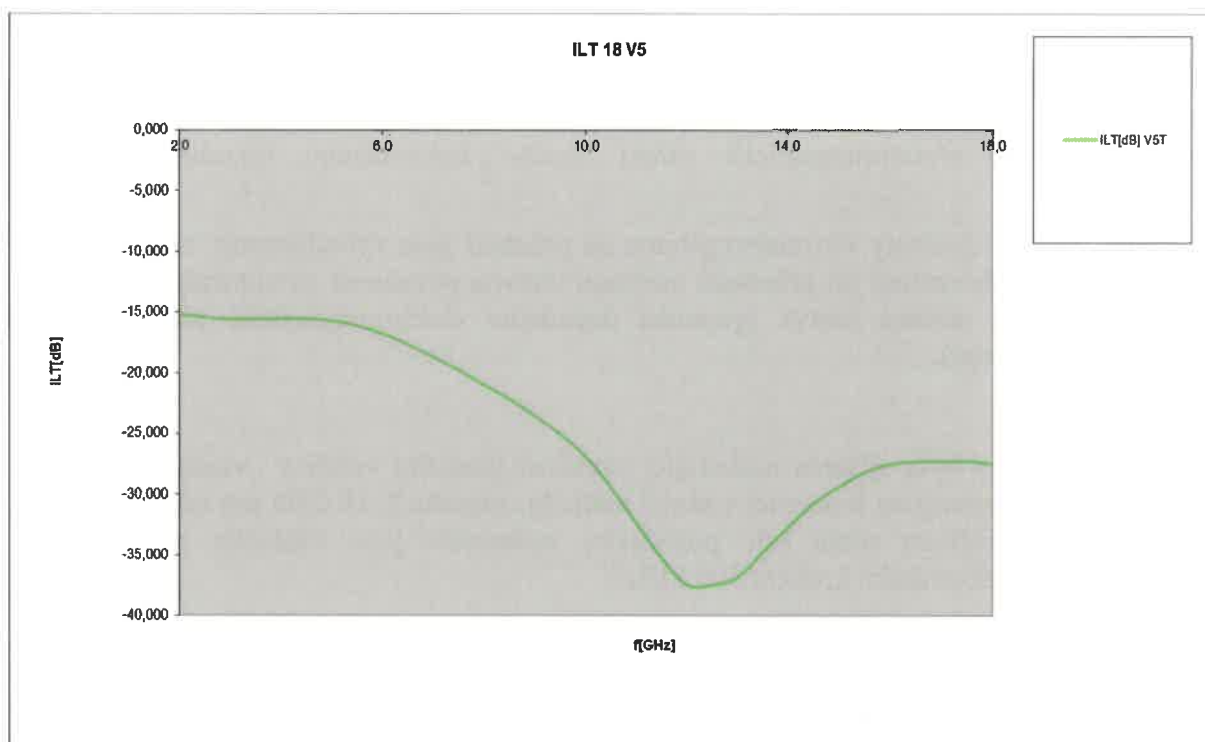
Případy, kdy se hodnoty zjištěného vloženého útlumu blíží 0 dB, reprezentují minimální útlum elektromagnetického záření při průchodu měřenou vrstvou (má se za to, že měřená vrstva dopadající elektromagnetické záření daného frekvenčního rozsahu významně propouští).

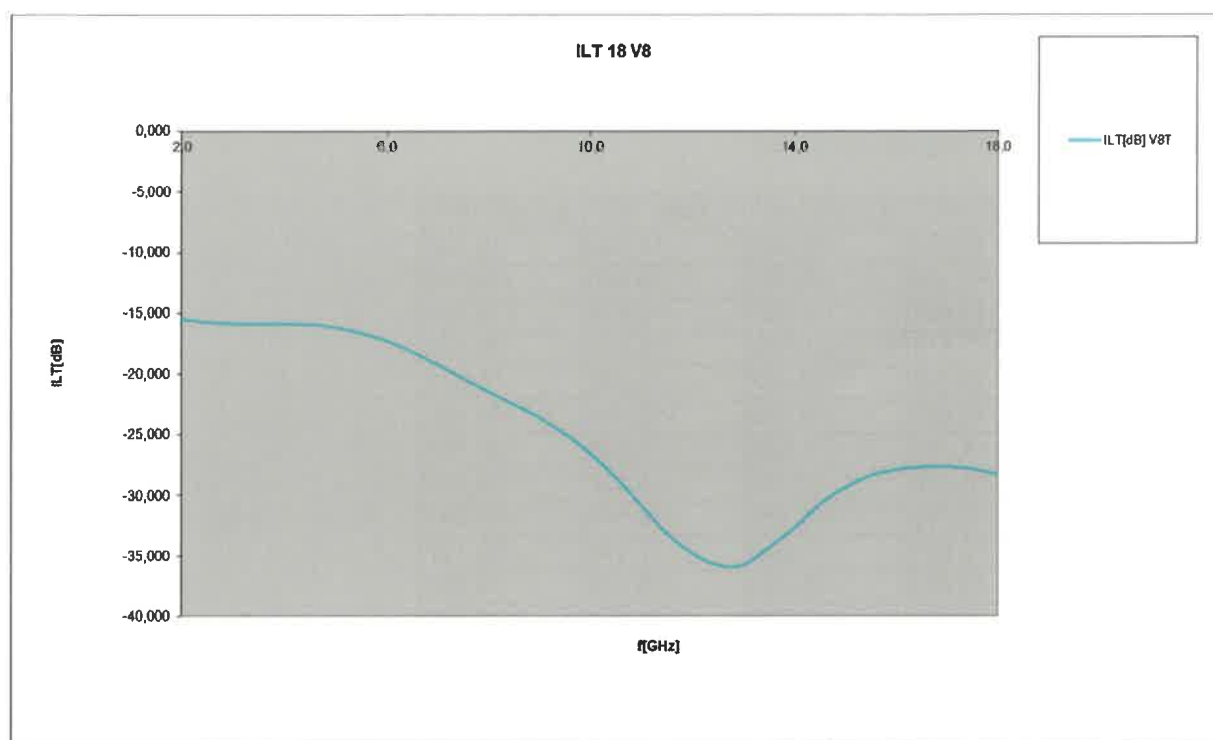
Čím větší záporné hodnoty vloženého útlumu na průchod jsou vyhodnoceny, tím lze útlum elektromagnetického záření při průchodu měřenou vrstvou považovat za výraznější (má se za to, že tím méně měřená vrstva propouští dopadající elektromagnetické záření daného frekvenčního rozsahu).

Závěr:

V průběhu zkoušky byla zjištěna následující závislost fyzikální veličiny „vložený útlum na průchod“ (v decibelech) na frekvenci v rámci měřicího rozsahu 2-18 GHz pro měřené vzorky instalované na měřicím rámu (dle požadavku zadavatele jsou výsledky prezentovány s reportovaným frekvenčním krokem 500 MHz):



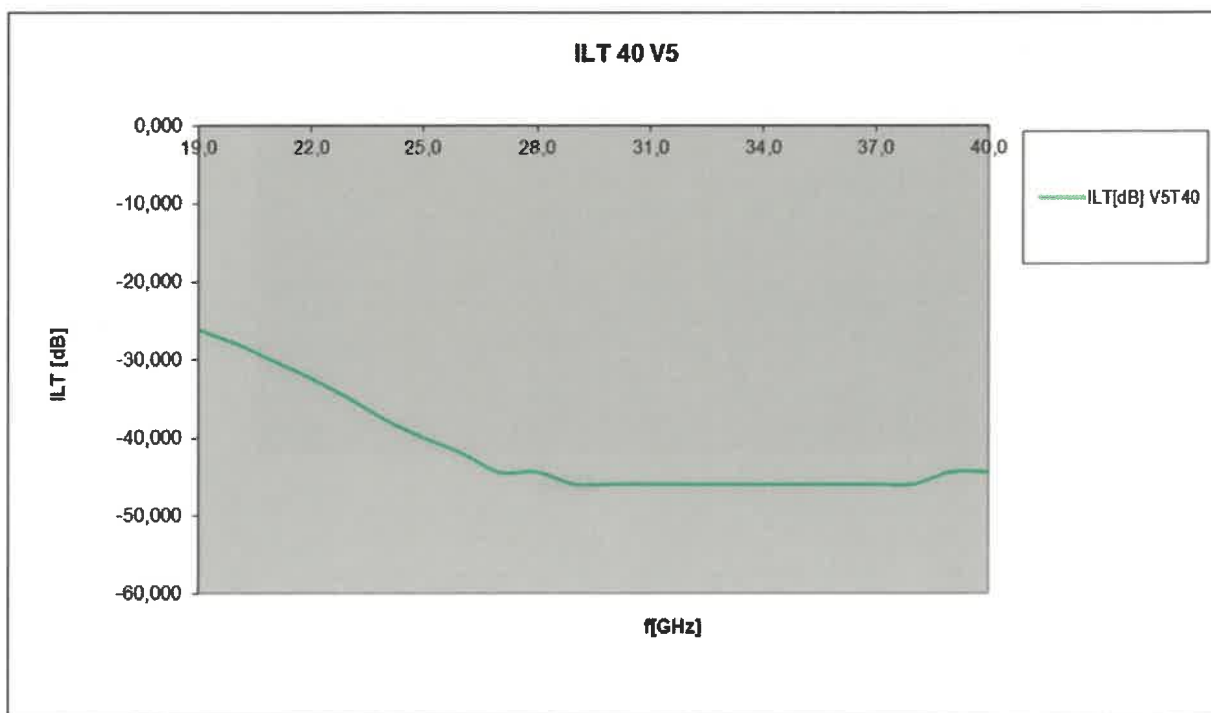
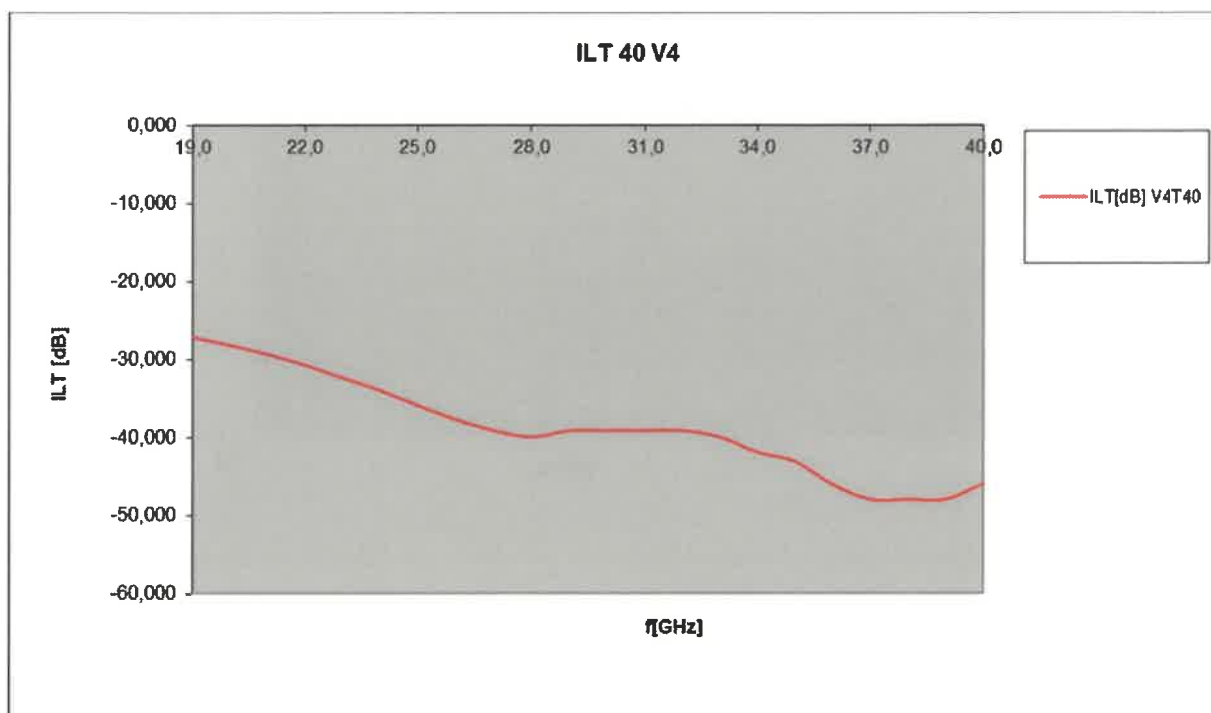


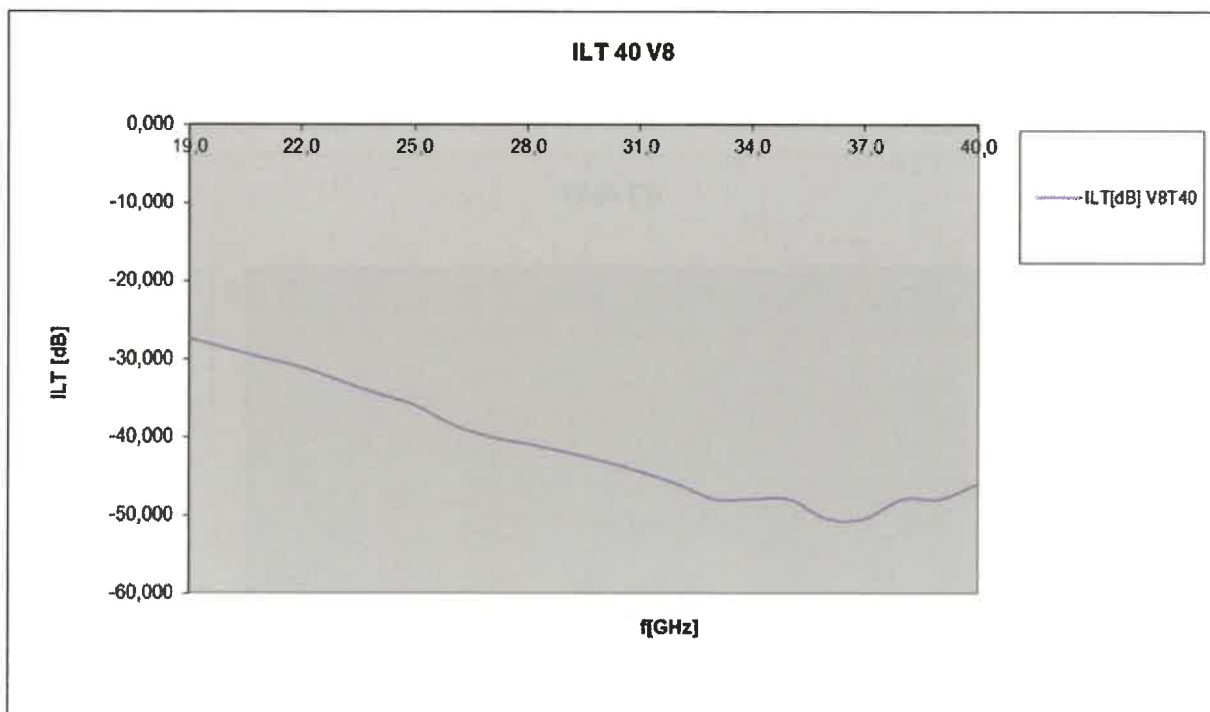
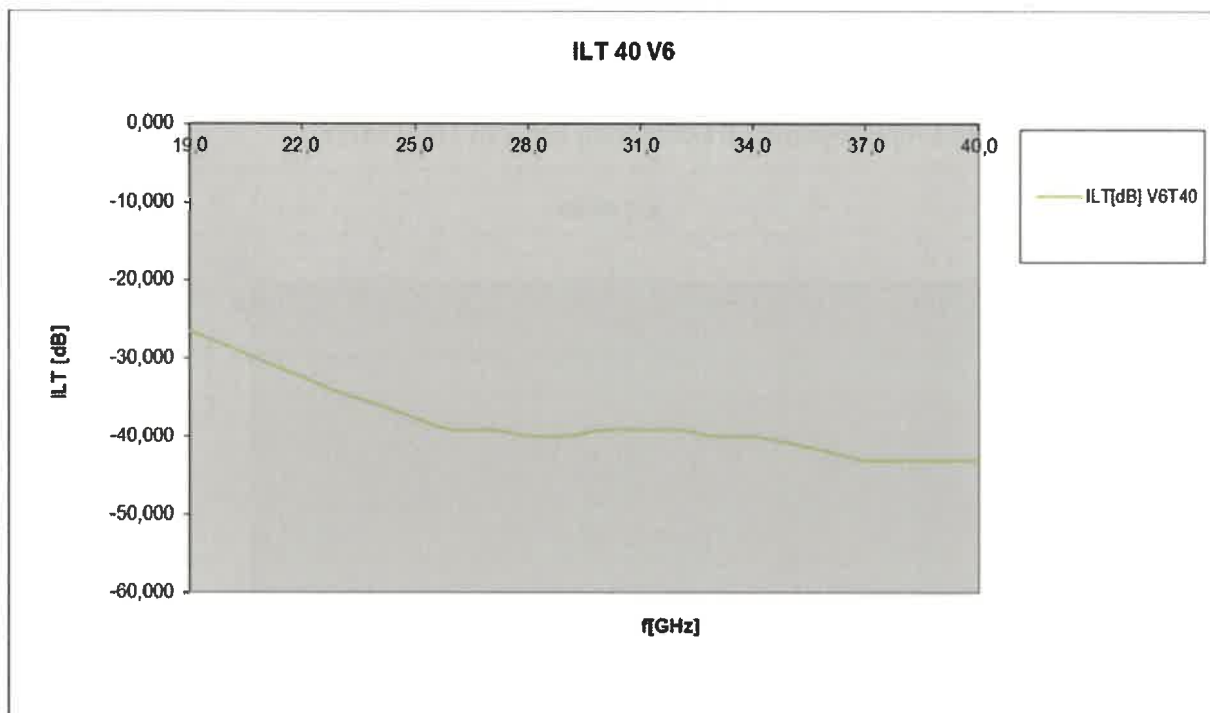


Hodnoty fyzikální veličiny „vložený útlum na průchod“ (v decibelech) v závislosti na frekvenci v rámci měřicího rozsahu 2-18 GHz pro měřené vzorky instalované na měřicím rámu (dle požadavku zadavatele jsou výsledky prezentovány s reportovaným frekvenčním krokem 500 MHz) v tabulkové formě:

f [GHz]	ILT[dB] V4T	ILT[dB] V5T	ILT[dB] V6T	ILT[dB] V8T
2,0	-15,053	-15,148	-15,292	-15,488
2,5	-15,300	-15,398	-15,546	-15,748
3,0	-15,406	-15,555	-15,655	-15,860
3,5	-15,415	-15,563	-15,613	-15,868
4,0	-15,423	-15,522	-15,522	-15,876
4,5	-15,480	-15,530	-15,480	-15,936
5,0	-15,739	-15,688	-15,638	-16,155
5,5	-16,209	-16,102	-15,997	-16,649
6,0	-16,935	-16,762	-16,649	-17,292
6,5	-17,857	-17,665	-17,476	-18,187
7,0	-18,953	-18,663	-18,522	-19,253
7,5	-20,126	-19,795	-19,634	-20,382
8,0	-21,386	-21,004	-20,820	-21,484
8,5	-22,532	-22,204	-21,992	-22,532
9,0	-23,724	-23,597	-23,227	-23,597
9,5	-25,105	-25,105	-24,667	-24,957
10,0	-26,749	-26,932	-26,395	-26,570
10,5	-28,787	-29,501	-28,787	-28,561
11,0	-31,143	-32,432	-31,763	-30,848
11,5	-33,946	-35,285	-34,816	-33,156
12,0	-36,308	-37,468	-38,112	-34,816
12,5	-37,460	-37,460	-39,554	-35,773
13,0	-37,443	-36,844	-39,538	-35,757
13,5	-36,267	-34,774	-36,827	-34,328
14,0	-34,741	-32,711	-34,741	-32,711
14,5	-32,678	-30,740	-32,323	-30,740
15,0	-30,992	-29,359	-30,413	-29,359
15,5	-29,836	-28,165	-29,080	-28,385
16,0	-28,808	-27,503	-28,351	-27,916
16,5	-28,325	-27,277	-27,681	-27,681
17,0	-28,308	-27,260	-27,460	-27,664
17,5	-28,534	-27,260	-27,460	-27,874
18,0	-28,774	-27,469	-27,469	-28,317

V průběhu zkoušky byla zjištěna následující závislost fyzikální veličiny „vložený útlum na průchod“ (v decibelech) na frekvenci v rámci měřicího rozsahu 4-40 GHz pro měřené vzorky instalované na měřicím rámu (dle požadavku zadavatele jsou výsledky prezentovány v rozsahu 19-40 GHz s reportovaným frekvenčním krokem 1000 MHz):





Hodnoty fyzikální veličiny „vložený útlum na průchod“ (v decibelech) v závislosti na frekvenci v rámci měřicího rozsahu 4-40 GHz pro měřené vzorky instalované na měřicím rámu (dle požadavku zadavatele jsou výsledky prezentovány v rozsahu 19-40 GHz s reportovaným frekvenčním krokem 1000 MHz) v tabulkové formě:

f [GHz]	ILT[dB] V4T40	ILT[dB] V5T40	ILT[dB] V6T40	ILT[dB] V8T40
19,0	-27,174	-26,239	-26,601	-27,374
20,0	-28,213	-27,993	-28,439	-28,671
21,0	-29,396	-30,199	-30,484	-29,923
22,0	-30,769	-32,413	-32,413	-31,074
23,0	-32,404	-34,903	-34,434	-32,774
24,0	-33,988	-37,730	-35,926	-34,434
25,0	-35,918	-40,000	-37,721	-35,918
26,0	-37,721	-41,938	-39,172	-38,416
27,0	-39,163	-44,428	-39,163	-39,991
28,0	-39,983	-44,420	-39,983	-40,898
29,0	-39,155	-46,003	-39,983	-41,921
30,0	-39,155	-46,003	-39,155	-43,081
31,0	-39,155	-46,003	-39,155	-44,420
32,0	-39,155	-46,003	-39,155	-46,003
33,0	-39,991	-46,012	-39,991	-47,950
34,0	-41,930	-46,012	-39,991	-47,950
35,0	-43,089	-46,012	-40,906	-47,950
36,0	-46,012	-46,012	-41,930	-50,449
37,0	-47,950	-46,012	-43,089	-50,449
38,0	-47,950	-46,012	-43,089	-47,950
39,0	-47,950	-44,428	-43,089	-47,950
40,0	-46,012	-44,428	-43,089	-46,012

V rámci rozsahu frekvencí elektromagnetického záření 2 GHz - 18 GHz použitého při uvedeném měření byly pro měřené vzorky na měřicím rámu zjištěny následující mezní (tj. nejmenší a největší) hodnoty vloženého útlumu na průchod.

	ILT[dB] V4T	ILT[dB] V5T	ILT[dB] V6T	ILT[dB] V8T
Nejmenší vložený útlum na průchod	-15,053	-15,148	-15,292	-15,488
Největší vložený útlum na průchod	-37,460	-37,468	-39,554	-35,773

V rámci rozsahu frekvencí elektromagnetického záření 19 GHz - 40 GHz použitého při uvedeném měření byly pro měřené vzorky na měřicím rámu zjištěny následující mezní (tj. nejmenší a největší) hodnoty vloženého útlumu na průchod.

	ILT[dB] V4T40	ILT[dB] V5T40	ILT[dB] V6T40	ILT[dB] V8T40
Nejmenší vložený útlum na průchod	-27,174	-26,239	-26,601	-27,374
Největší vložený útlum na průchod	-47,950	-46,012	-43,089	-50,449

Zkoušku provedl: Mgr. Adam Jobánek

Schválil: Ing. Pavel Čuda, Ph.D.


Vojenský výzkumný ústav, s.p.
Veslařská 230, 637 00 Brno
DIČ: CZ29372259, IČ: 29372259

Datum vydání: 14. 3. 2022

Vyhotoveno v 2 výtiscích o 9 listech

Výtisk č. 1 - VVÚ s. p., Veslařská 230, 637 00 Brno, Sekce Materiálové inženýrství,
Oddělení speciálních materiálů

Výtisk č. 2 - spis

Vypracoval: Jobánek



Schválil:

Vypravil:

dne:

Uloženo:

Počet listů:

Skartační znak: S2

Rok skartačního řízení: 2024