



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

Číslo protokolu: SSEM/006/2022-VVÚ

Počet stran: 9

Přílohy: 0

PROTOKOL O ZKOUŠCE

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

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

Typ vzorků:

Plošný kompozitní materiál

Označení vzorků:

Vz. 4/2022 (ve výsledcích značeno „V4R“ a „V4R40“),

Vz. 5/2022 (ve výsledcích značeno „V5R“ a „V5R40“),

Vz. 6/2022 (ve výsledcích značeno „V6R“ a „V6R40“),

Vz. 8/2022 (ve výsledcích značeno „V8R“ a „V8R40“).

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 odrazu elektromagnetického záření ve frekvenčním pásmu 2 GHz - 18 GHz a měřicí mikrovlnná trasa pro vyhodnocování odrazu 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 R pro měření ve frekvenčním pásmu 2 GHz - 18 GHz respektive R40 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 navracejícího se po interakci s měřeným vzorkem zpět k vysílací anténě.

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. Signál vracející se po interakci se vzorkem zpět k vysílací anténě byl přijat vektorovým analyzátozem a vyhodnocen.

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 vracejícího se po interakci s měřeným vzorkem zpět ke zdroji signálu bylo kvantifikováno pomocí fyzikální veličiny „vložený útlum na odraz“ – ILR (v decibelech) vyjádřené v závislosti na frekvenci v rámci měřicího rozsahu a popisující poměr signálu navracejícího se po interakci s měřeným vzorkem k signálu navracejícímu se po interakci s etalonem maximální odrazivosti (kovová deska).

▪ Určení spektrálního vloženého útlumu na odraz

$$ILR = 20 \log \frac{S_{11sample}}{S_{11ref}} \quad [dB]$$

ILR vložený útlum na odraz

$S_{11sample}$..velikost koeficientu odrazu pro měřený vzorek (signál vracející se od měřeného vzorku)

S_{11ref} velikost koeficientu odrazu pro referenční vzorek (signál vracející se od etalonu maximální odrazivosti)

Použitá metoda měření využívá následující interpretace výsledků měření:

Případy, kdy se hodnoty zjištěného vloženého útlumu blíží 0 dB, reprezentují minimální útlum elektromagnetického záření při odrazu od měřené vrstvy (má se za to, že měřená vrstva dopadající elektromagnetické záření daného frekvenčního rozsahu významně odráží a navrací zpět ke zdroji signálu).

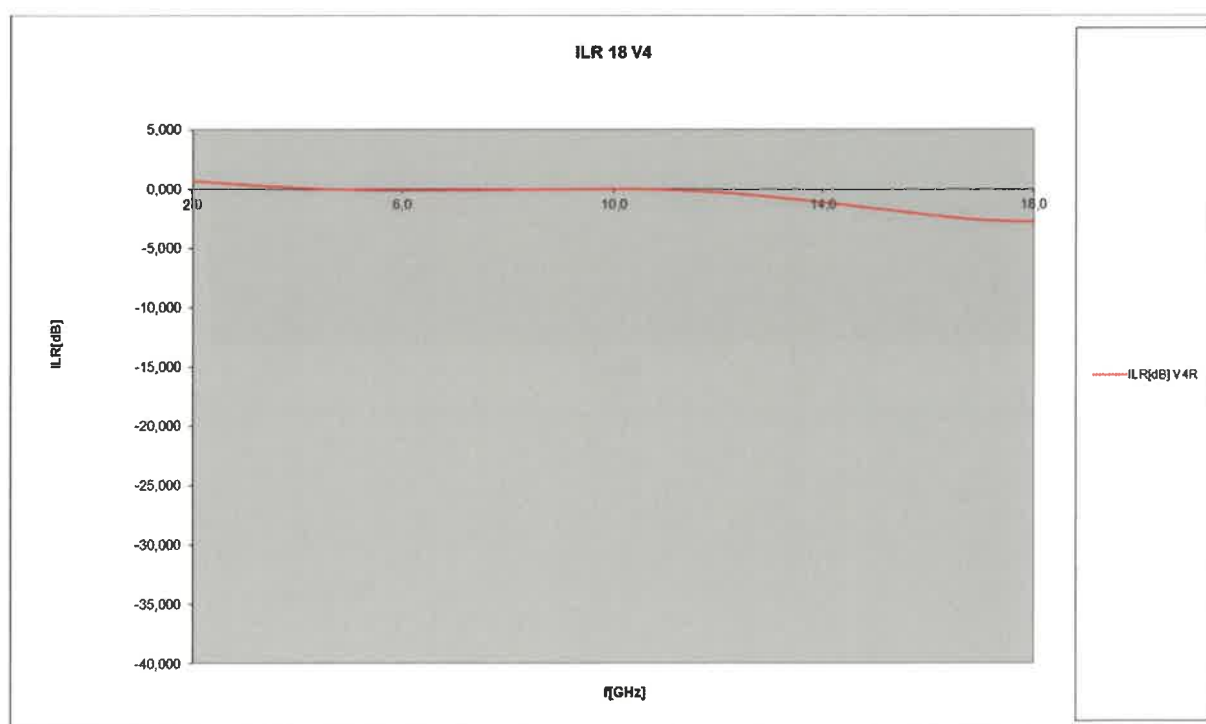
Čím větší záporné hodnoty vloženého útlumu na odraz jsou vyhodnoceny, tím lze útlum elektromagnetického záření při odrazu od měřené vrstvy považovat za výraznější (má se za to, že tím méně měřená vrstva odráží dopadající elektromagnetické záření daného frekvenčního rozsahu zpět ke zdroji signálu).

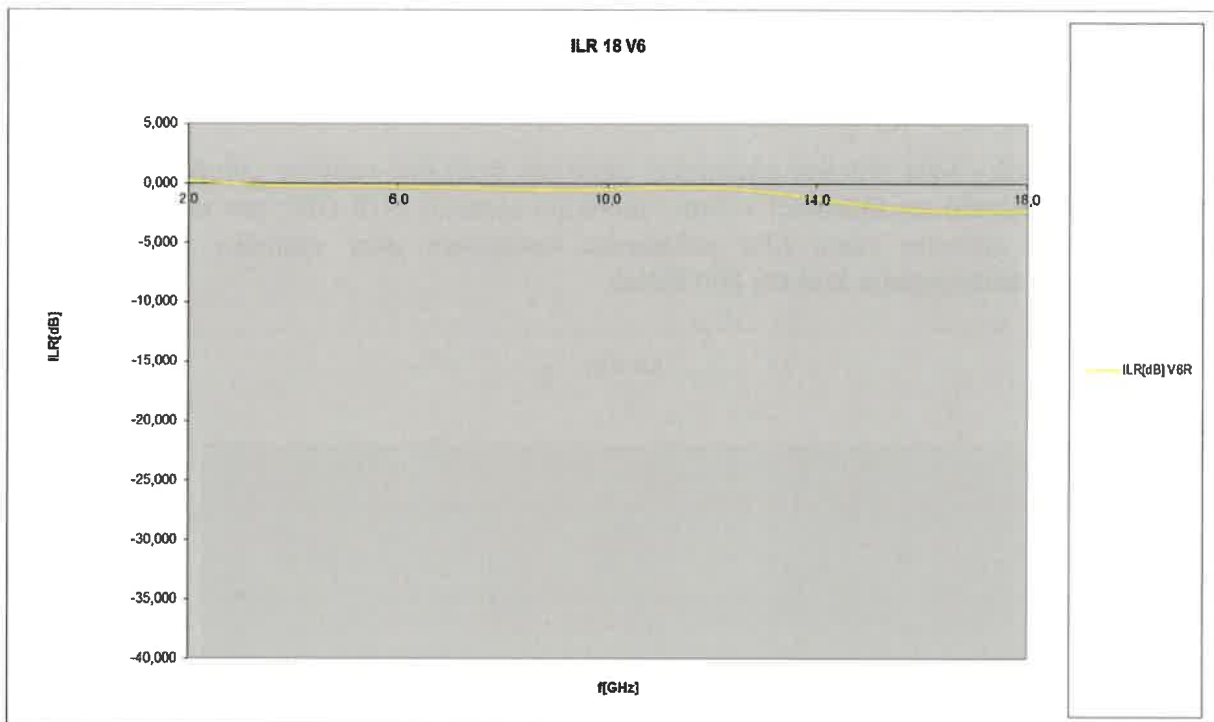
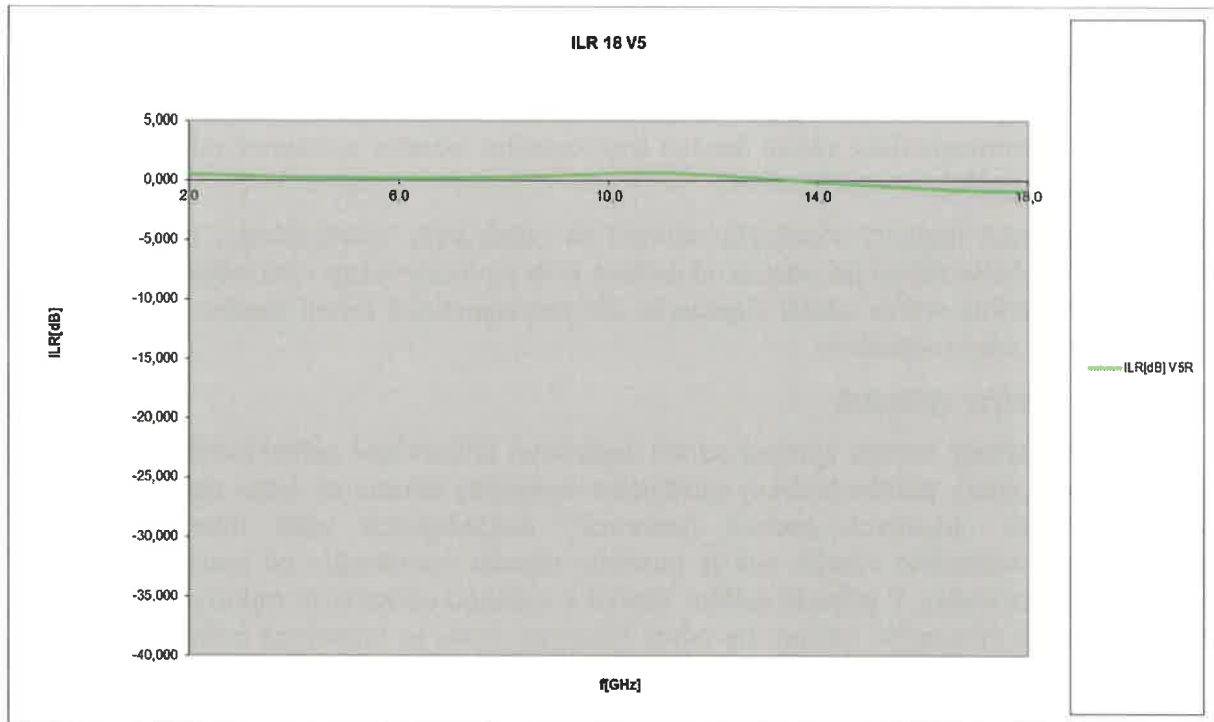
Komentář k analýze výsledků:

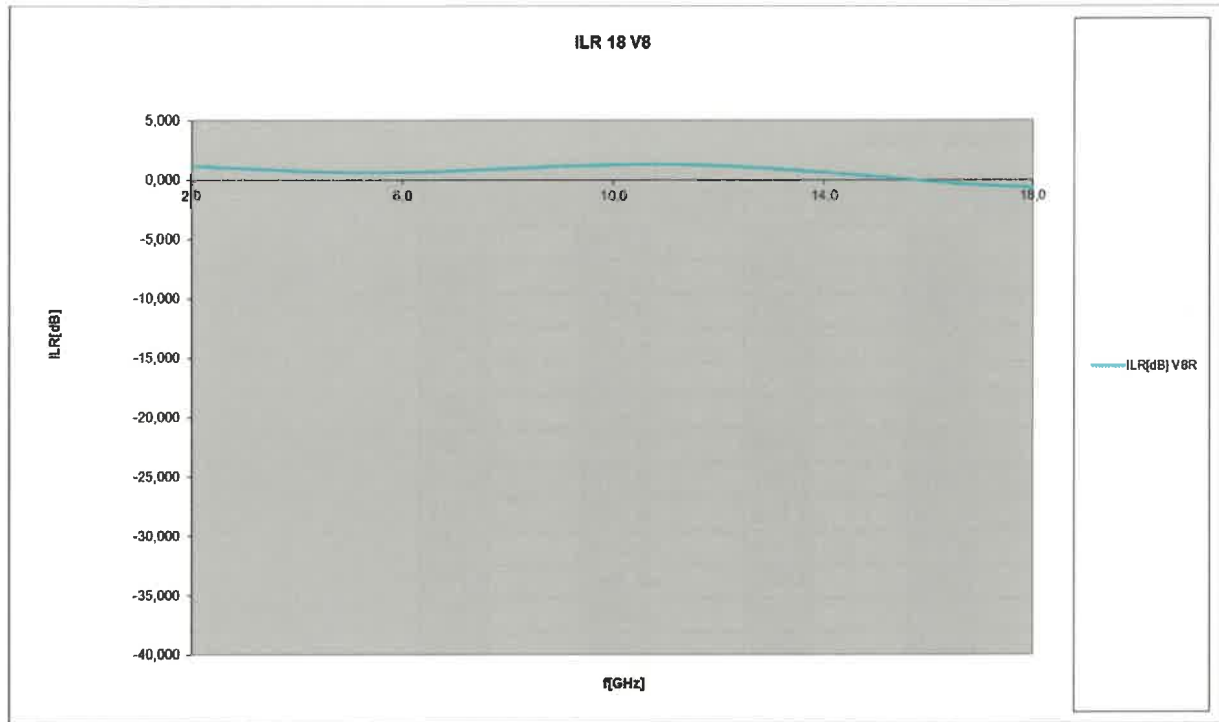
V případě, že měřený vzorek výrazně odráží dopadající mikrovlnné záření (vložený útlum na odraz je blízký nule), můžou hodnoty zjištěného vloženého útlumu na odraz nabývat malých záporných nebo i kladných hodnot (teoreticky dokládajících větší intenzitu signálu odraženého od měřeného vzorku než je intenzita signálu odraženého od použitého etalonu maximální odrazivosti). V případě měření vzorků s vysokou odrazivostí mikrovlnného záření (tj. s hodnotami vloženého útlumu na odraz blízkými nule) se naměřené hodnoty pohybují v tzv. oblasti šumu (tedy pod prahem užitečných hodnot detekovaných signálů). Konkrétní hodnoty takto zjištěných útlumů jsou zatíženy vysokými nejistotami a nelze na ně tedy pohlížet, jako na kvantitativně přesnou charakterizaci měřených vzorků (tj. není podstatné, jaká numericky konkrétní malá hodnota útlumu byla vyhodnocena), ale jako na kvalitativní důkaz, že útlumové vlastnosti takových vzorků jsou zanedbatelné.

Závěr:

V průběhu zkoušky byla zjištěna následující závislost fyzikální veličiny „vložený útlum na odraz“ (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):



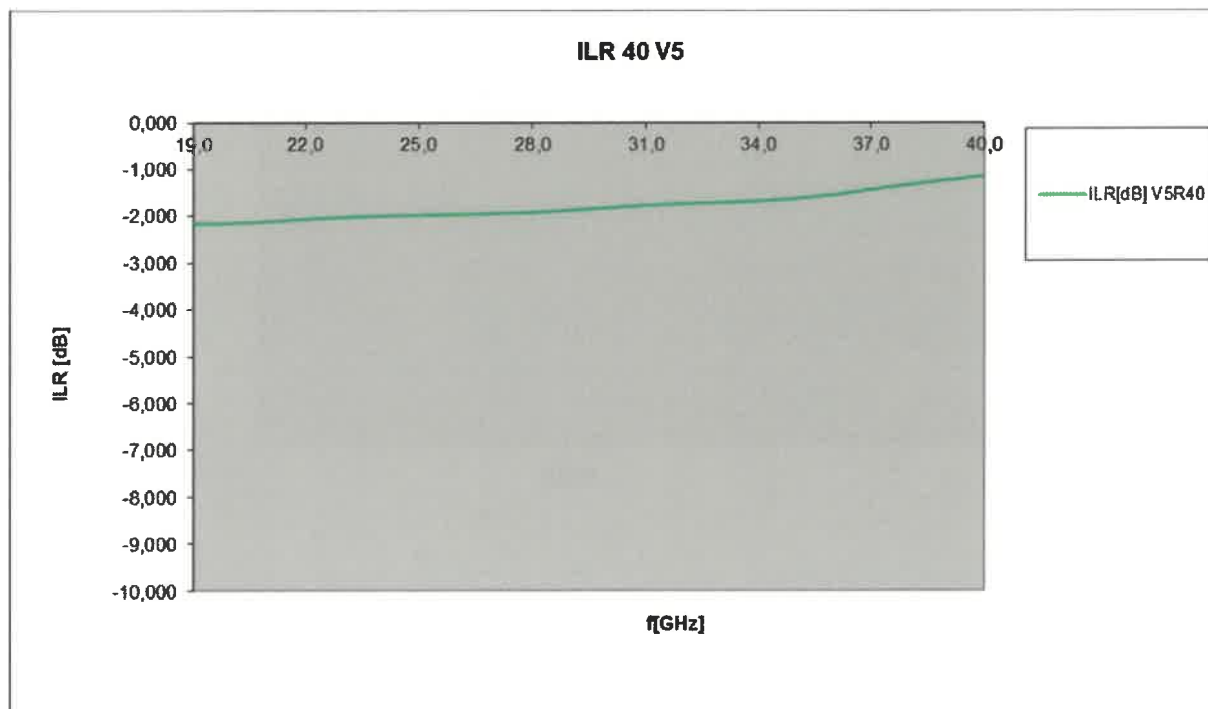
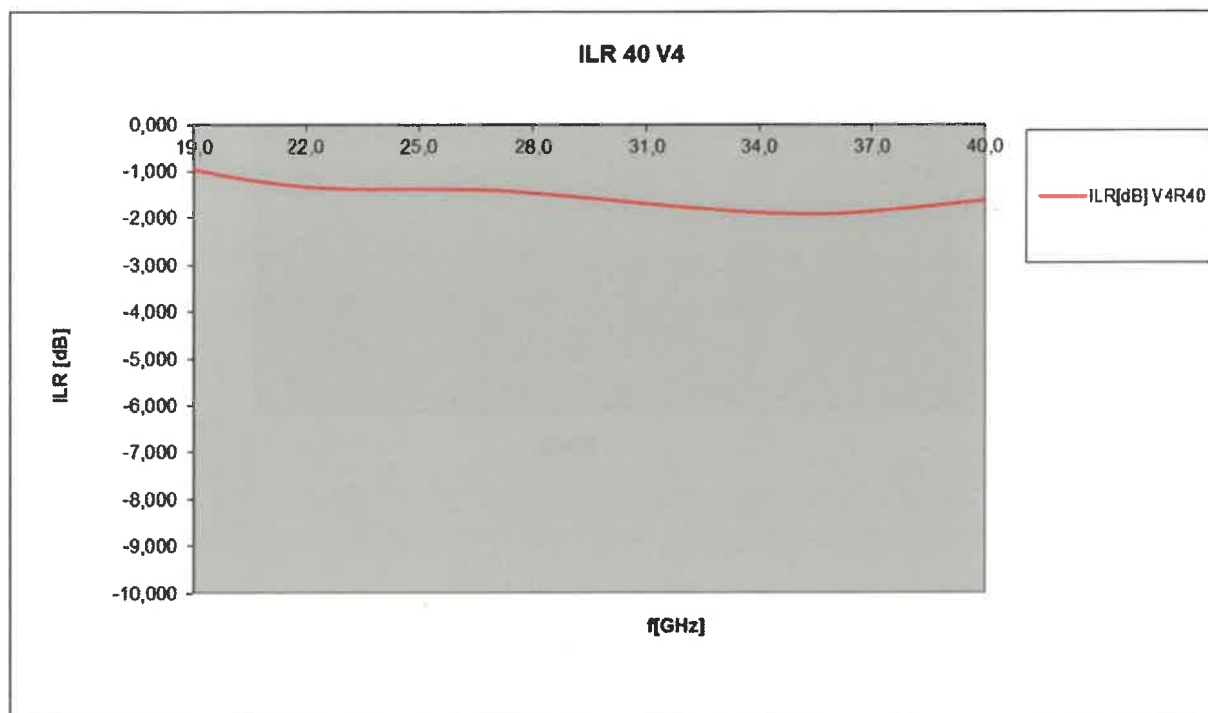


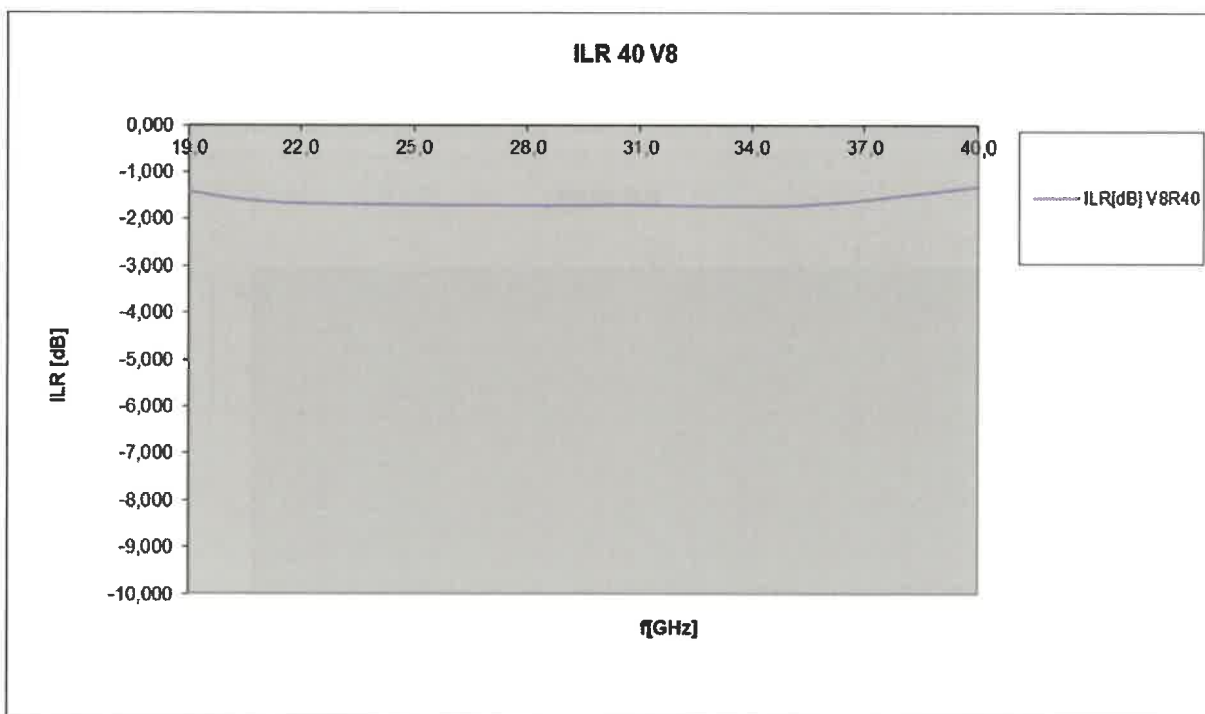
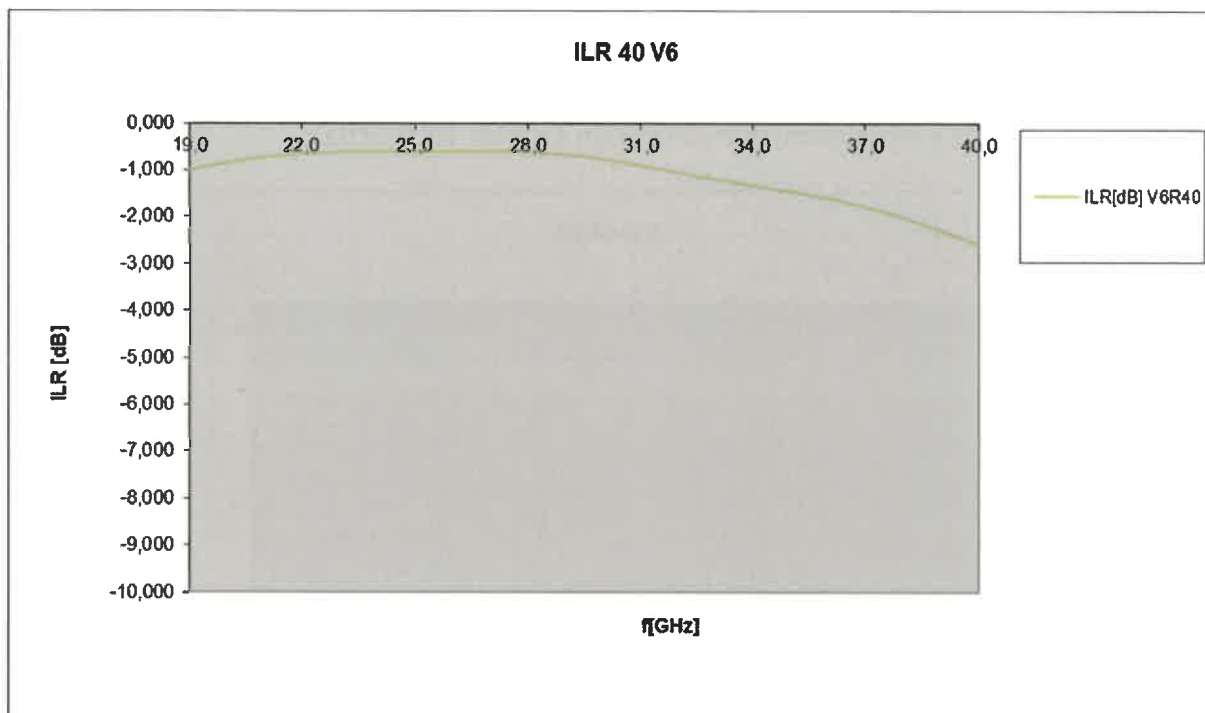


Hodnoty fyzikální veličiny „vložený útlum na odraz“ (v decibelech) v závislosti na frekvenci v rámci měřicího rozsahu 2-18 GHz pro měřené vzorky instalované na měřicím rámu (dle požadavku zadavatele jsou výsledky prezentovány s reportovaným frekvenčním krokem 500 MHz) v tabulkové formě:

f [GHz]	ILR[dB] V4R	ILR[dB] V5R	ILR[dB] V6R	ILR[dB] V8R
2,0	0,666	0,527	0,216	1,155
2,5	0,528	0,443	0,071	1,065
3,0	0,369	0,361	-0,063	0,952
3,5	0,230	0,291	-0,172	0,845
4,0	0,097	0,245	-0,234	0,731
4,5	0,009	0,216	-0,257	0,647
5,0	-0,052	0,196	-0,271	0,590
5,5	-0,085	0,177	-0,276	0,575
6,0	-0,102	0,176	-0,283	0,612
6,5	-0,102	0,175	-0,318	0,673
7,0	-0,085	0,192	-0,354	0,761
7,5	-0,077	0,226	-0,409	0,857
8,0	-0,060	0,269	-0,474	0,954
8,5	-0,043	0,338	-0,524	1,054
9,0	-0,026	0,424	-0,556	1,138
9,5	-0,018	0,502	-0,561	1,208
10,0	-0,009	0,589	-0,509	1,272
10,5	-0,018	0,635	-0,429	1,320
11,0	-0,072	0,622	-0,356	1,318
11,5	-0,163	0,556	-0,329	1,281
12,0	-0,291	0,453	-0,356	1,208
12,5	-0,464	0,305	-0,474	1,090
13,0	-0,673	0,156	-0,683	0,945
13,5	-0,901	0,009	-0,949	0,785
14,0	-1,139	-0,138	-1,267	0,618
14,5	-1,387	-0,267	-1,568	0,447
15,0	-1,652	-0,400	-1,849	0,268
15,5	-1,919	-0,530	-2,081	0,077
16,0	-2,189	-0,658	-2,245	-0,114
16,5	-2,429	-0,781	-2,348	-0,295
17,0	-2,612	-0,868	-2,375	-0,446
17,5	-2,718	-0,910	-2,360	-0,561
18,0	-2,754	-0,906	-2,303	-0,635

V průběhu zkoušky byla zjištěna následující závislost fyzikální veličiny „vložený útlum na odraz“ (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 odraz“ (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]	ILR[dB] V4R40	ILR[dB] V5R40	ILR[dB] V6R40	ILR[dB] V8R40
19,0	-0,958	-2,157	-0,987	-1,404
20,0	-1,117	-2,151	-0,836	-1,540
21,0	-1,238	-2,111	-0,714	-1,627
22,0	-1,329	-2,067	-0,648	-1,669
23,0	-1,369	-2,023	-0,611	-1,680
24,0	-1,378	-1,999	-0,601	-1,688
25,0	-1,377	-1,975	-0,601	-1,697
26,0	-1,385	-1,962	-0,600	-1,706
27,0	-1,406	-1,940	-0,591	-1,706
28,0	-1,465	-1,917	-0,609	-1,714
29,0	-1,535	-1,872	-0,664	-1,712
30,0	-1,608	-1,818	-0,757	-1,702
31,0	-1,691	-1,765	-0,890	-1,702
32,0	-1,765	-1,733	-1,045	-1,712
33,0	-1,831	-1,704	-1,183	-1,725
34,0	-1,886	-1,674	-1,314	-1,727
35,0	-1,910	-1,624	-1,448	-1,718
36,0	-1,904	-1,544	-1,585	-1,669
37,0	-1,854	-1,434	-1,768	-1,599
38,0	-1,783	-1,324	-1,999	-1,499
39,0	-1,701	-1,226	-2,272	-1,409
40,0	-1,620	-1,149	-2,566	-1,310

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 odraz.



	ILR[dB] V4R	ILR[dB] V5R	ILR[dB] V6R	ILR[dB] V8R
Nejmenší vložený útlum na odraz	0,666	0,635	0,216	1,320
Největší vložený útlum na odraz	-2,754	-0,910	-2,375	-0,635

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 odraz.

	ILR[dB] V4R40	ILR[dB] V5R40	ILR[dB] V6R40	ILR[dB] V8R40
Nejmenší vložený útlum na odraz	-0,958	-1,149	-0,591	-1,310
Největší vložený útlum na odraz	-1,910	-2,157	-2,566	-1,727

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