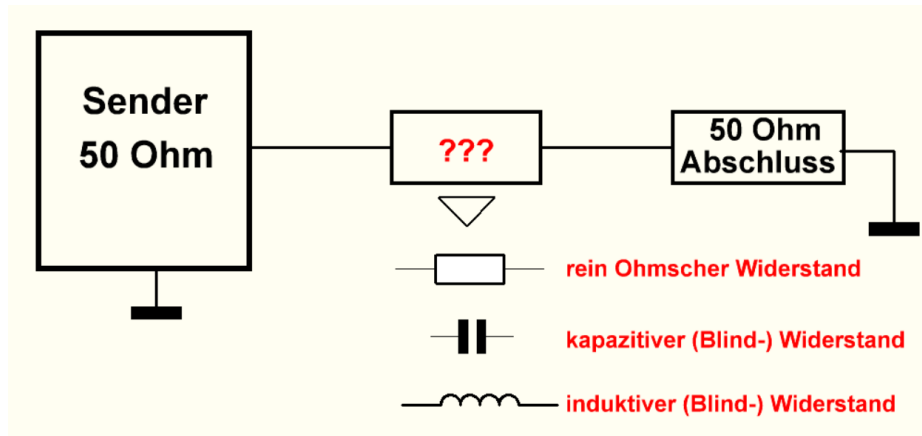


Der Dämpfung von (Blind)-Widerständen auf der Spur [#66]

Wilhelm, DL6DCA, 23.08.2024



Aufmacherbild

In der letzten Zeit habe ich mich mit Bias-T Schaltungen beschäftigt. Dabei stellte sich mir die Frage, was bewirken eigentlich rein ohmsche Widerstände und kapazitive / induktive Blindwiderstände in 50 Ω Systemen. Diese Widerstandsformen kommen in fast jeder Hochfrequenzschaltung vor und da stellt sich u.a. die Frage, welche Dämpfung sie verursachen.

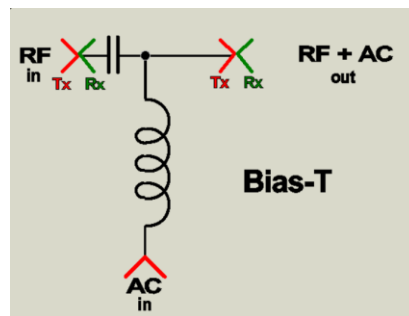


Bild 1: Bias T mit C und L, Frage der Dämpfung reaktiver Widerstände

Im Aufmacherbild sieht man einen Sender mit 50 Ω Innenwiderstand. Der Sender kann der TX eines Funkgerätes, aber auch ein Messsender sein. Üblicherweise wird dann über ein Koaxialkabel die Antenne, im Idealfall mit 50 Ω Fußpunktwidestand, oder zu Messzwecken einfach ein 50 Ω Abschlusswiderstand angeschlossen. Das Koaxialkabel führt bereits durch sein rein ohmsches Verhalten, nämlich dem rein ohmschen Widerstand des Innenleiters, zu einer Dämpfung der HF-Leistung die aus dem Sender kommt. Will sagen, es kommt nicht die volle Sendeleistung an der Antenne / Abschlusswiderstand an. Wenn man jetzt aber noch einen Kondensator einfügt um z.B. die bei manchen Transceivern an der Ausgangsbuchse liegenden Gleichspannung von der Antenne zu trennen, wirkt dieser Kondensator dämpfend als kapazitiver Blindwiderstand. Gleiches gilt beim Einfügen einer Induktivität z.B. im Rahmen der Fußpunktanpassung einer Antenne.

Mich interessierte nun, wie hoch diese Dämpfung ist.

Bei meiner Betrachtung habe ich bewusst die Tatsache außer acht gelassen, dass jedes Bauteil neben seiner Haupteigenschaft immer auch parasitäre Komponenten beinhaltet. Bei einem einfachen Widerstand reichen schon die Anschlussbeinchen aus um eine induktive sowie kapazitive Größe mit einzubringen. Gleiches gilt für Kondensatoren und Induktivitäten. Diese parasitären Komponenten spielen eine wichtige Rolle bei der Frage z.B. der Eigenresonanz des Bauteils, sind aber bei der hier vorgenommenen Betrachtung erst einmal sekundär und deshalb vernachlässigt. Trotzdem zur Abrundung des Themas die Ersatzschaltbilder mit den parasitären Anteilen:

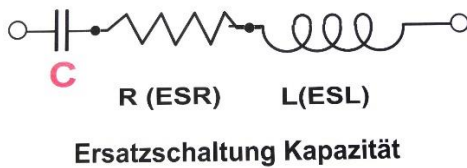


Bild 2

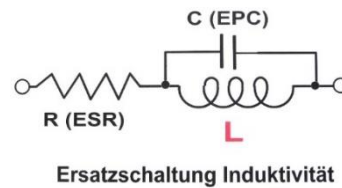


Bild 3

ESR = Equivalenter Serien Widerstand
 ESL = Equivalenter Serien Induktivität
 EPC = Equivalenter Serien Kapazität

Wenn man in der Schaltung des Aufmacherbildes einen (theoretisch) rein ohmschen Widerstand einfügt, so hat dieser seinen tatsächlichen ohmschen Wert. Dadurch ist er erst einmal frequenzunabhängig. Er lässt sich auch einfach mit einem Ohmmeter / Multimeter ermitteln. Welchen Widerstandswert haben denn Kondensatoren oder Induktivitäten?

Der Widerstand eines Kondensators bzw. einer Induktivität lässt sich mit einem einfachen Ohmmeter nicht messen, sehr wohl aber berechnen.

Der kapazitive Blindwiderstand, auch kapazitive Reaktanz genannt, berechnet sich nach der Formel:

$$X_C = - \frac{1}{2\pi f C}$$



Bild 4

Wie man in der Formel sieht, spielt hier die Frequenz eine entsprechende Rolle. Je höher die Frequenz, umso kleiner wird der Widerstand. Das Minuszeichen hat hier keine mathematische Bedeutung sondern zeigt an, dass es sich um eine kapazitive Reaktanz handelt.

Beispiele:

Hinweis: Wichtig ist die richtige Größenangabe in Hz, Farad und Henry!

Bei 50 Hz und einem 10 nF (= 0,00000001 F) Kondensator

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3,1414 \times 50 \text{ Hz} \times 0,00000001 \text{ F}} = 318.329 \Omega$$

Bei 30 MHz und einem 10 nF Kondensator

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3,1414 \times 30000000 \text{ Hz} \times 0,00000001 \text{ F}} = 0,5305 \Omega$$

Der induktive Blindwiderstand, auch induktive Reaktanz genannt, berechnet sich nach der Formel:

$$X_L = 2\pi fL$$



Bild 5

Auch hier sieht man, dass die Frequenz eine Rolle spielt. Je höher die Frequenz, desto größer der Widerstand.

Beispiele:

Bei 50 Hz und einer 5 mH (= 0,005 H) Induktivität :

$$X_L = 2 \times 3,414 \times 50 \text{ HZ} \times 0,005 \text{ H} = 1,57 \Omega$$

Bei 30 MHz und einer 5 mH Induktivität :

$$X_L = 2 \times 3,414 \times 30000000 \text{ HZ} \times 0,005 \text{ H} = 942.420 \Omega$$

Nachdem jetzt bekannt ist, wie der reale / reaktive Widerstand ermittelt wird, nun zur Frage der Dämpfung.

Der im Aufmacherbild dargestellte Sender soll eine Leistung von 100 W erzeugen. Das bedeutet, dass am Geräteausgang eine Spannung von 70,7 V_{ERP} anliegen muss, um an dem 50 Ω Abschlusswiderstand (also ohne den ??? Widerstand) eine Leistung von 100 Watt zu erzeugen.

Einfach zu berechnen nach der Formel $P = U \times I$. Da uns I nicht bekannt ist, nehmen wir $U = R \times I$ zur Hilfe und stellen nach I um, also $I = \frac{U}{R}$. Damit ergibt sich die Leistungsformel zu $P = \frac{U \times U}{R}$. Somit also $P = \frac{70,7 \times 70,7}{50} = 100 \text{ W}$.

Jetzt kommt der reale / reaktive Widerstand ins Spiel, und es ergibt sich ein Spannungsteiler. Bei 100 W ergibt sich im Sender, also vor dem 50 Ω Innenwiderstand, eine Leerlaufspannung von $2 \times 70,7 \text{ V} = 141,4 \text{ V}$.

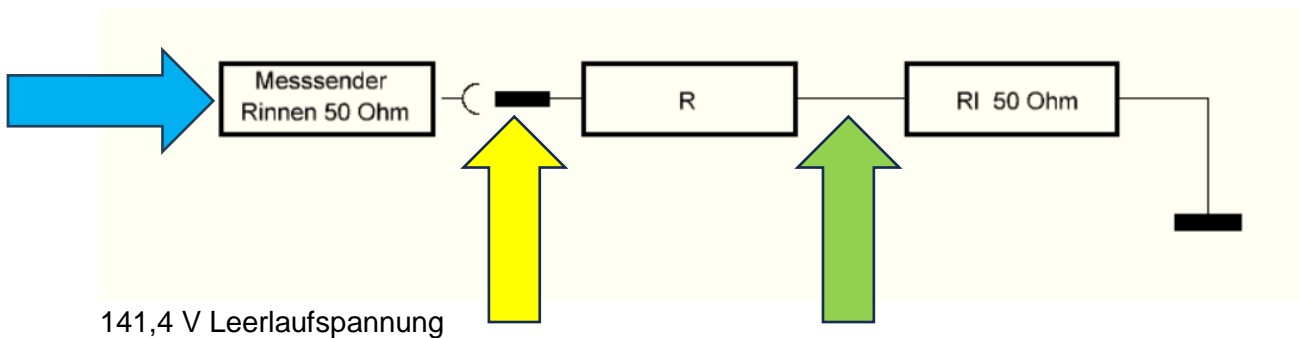


Bild 6

141,4 V im Sender entspricht 100 W an 50 Ohm						
Ri	R	RL	Spannung zwischen Ri und R	Spannung zwischen R und RL	Dämpfung in dB	Leistung in %
50	0	50	70,70	70,70	0,00	100,0
50	1	50	71,40	70,00	-0,17	96,1
50	2	50	72,09	69,31	-0,34	92,5
50	3	50	72,76	68,64	-0,51	89,0
50	4	50	73,42	67,98	-0,67	85,7
50	5	50	74,07	67,33	-0,83	82,6
50	6	50	74,70	66,70	-0,98	79,7
50	7	50	75,33	66,07	-1,14	76,9
50	8	50	75,94	65,46	-1,29	74,3
50	9	50	76,54	64,86	-1,44	71,8
50	10	50	77,13	64,27	-1,58	69,4
50	11	50	77,71	63,69	-1,73	67,2
50	12	50	78,28	63,13	-1,87	65,0
50	13	50	78,83	62,57	-2,01	63,0
50	14	50	79,38	62,02	-2,14	61,0
50	15	50	79,92	61,48	-2,28	59,2

Tabelle 1

Spannung im Sender 141,4 V

Spannung zwischen Ri und R: $141,4 \text{ V} / (Ri + R + RL) \times (R + RL)$

Spannung zwischen Ri und RL: $141,4 \text{ V} / (Ri + R + RL) \times RL$

Dämpfung = $20 \times \log$ (grüne Spalte / gelbe Spalte)

Eine alternative Berechnung der Dämpfung über die Widerstandswerte ist möglich mit der Formel

$$D = 20 \times \log (R_L/(R+R_L))$$

Beispiel mit $R = 1 \Omega$ und $R_L = 50 \Omega$:

$$D = 20 \times \log (50/(1+50)) = 0,1720 \text{ dB}$$

Es ergeben sich die gleichen Dämpfungswerte wie in Tabelle 1.

Als **Anlage** ist die erweiterte Tabelle 1 angefügt.

Kleinere Abweichungen ergeben sich durch Rundungen infolge fehlender Nachkommastellen!

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Matthias, DD1US, und Heinz, DL3YDP, für den Gedankenaustausch bedanken. Sie haben mir beim Verständnis des Innenwiderstandes des Senders und seine Auswirkung auf die Berechnung geholfen.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@darc.de oder Ortsfrequenz 144,575MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

Anlage

141,4 V im Sender entspricht 100 W an 50 Ohm

			Spannung	Spannung	Dämpfung	Leistung
Ri	R	RL	zwischen Ri und R	zwischen R und RL	in dB	in %
50	0	50	70,70	70,70	0,00	100,0
50	1	50	71,40	70,00	-0,17	96,1
50	2	50	72,09	69,31	-0,34	92,5
50	3	50	72,76	68,64	-0,51	89,0
50	4	50	73,42	67,98	-0,67	85,7
50	5	50	74,07	67,33	-0,83	82,6
50	6	50	74,70	66,70	-0,98	79,7
50	7	50	75,33	66,07	-1,14	76,9
50	8	50	75,94	65,46	-1,29	74,3
50	9	50	76,54	64,86	-1,44	71,8
50	10	50	77,13	64,27	-1,58	69,4
50	11	50	77,71	63,69	-1,73	67,2
50	12	50	78,28	63,13	-1,87	65,0
50	13	50	78,83	62,57	-2,01	63,0
50	14	50	79,38	62,02	-2,14	61,0
50	15	50	79,92	61,48	-2,28	59,2
50	16	50	80,45	60,95	-2,41	57,4
50	17	50	80,97	60,43	-2,54	55,7
50	18	50	81,48	59,92	-2,67	54,1
50	19	50	81,99	59,41	-2,80	52,5
50	20	50	82,48	58,92	-2,92	51,0
50	21	50	82,97	58,43	-3,05	49,6
50	22	50	83,45	57,95	-3,17	48,2
50	23	50	83,92	57,48	-3,29	46,9
50	24	50	84,38	57,02	-3,41	45,7
50	25	50	84,84	56,56	-3,52	44,4
50	26	50	85,29	56,11	-3,64	43,3
50	27	50	85,73	55,67	-3,75	42,2
50	28	50	86,17	55,23	-3,86	41,1
50	29	50	86,59	54,81	-3,97	40,1
50	30	50	87,02	54,38	-4,08	39,1
50	31	50	87,43	53,97	-4,19	38,1
50	32	50	87,84	53,56	-4,30	37,2
50	33	50	88,24	53,16	-4,40	36,3

50	34	50	88,64	52,76	-4,51	35,4
50	35	50	89,03	52,37	-4,61	34,6

			Spannung	Spannung	Dämpfung	Leistung
Ri	R	RL	zwischen Ri und R	zwischen R und RL	in dB	in %
50	36	50	89,41	51,99	-4,71	33,8
50	37	50	89,79	51,61	-4,81	33,0
50	38	50	90,17	51,23	-4,91	32,3
50	39	50	90,54	50,86	-5,01	31,6
50	40	50	90,90	50,50	-5,11	30,9
50	41	50	91,26	50,14	-5,20	30,2
50	42	50	91,61	49,79	-5,30	29,5
50	43	50	91,96	49,44	-5,39	28,9
50	44	50	92,30	49,10	-5,48	28,3
50	45	50	92,64	48,76	-5,58	27,7
50	46	50	92,98	48,42	-5,67	27,1
50	47	50	93,30	48,10	-5,76	26,6
50	48	50	93,63	47,77	-5,85	26,0
50	49	50	93,95	47,45	-5,93	25,5
50	50	50	94,27	47,13	-6,02	25,0
50	51	50	94,58	46,82	-6,11	24,5
50	52	50	94,89	46,51	-6,19	24,0
50	53	50	95,19	46,21	-6,28	23,6
50	54	50	95,49	45,91	-6,36	23,1
50	55	50	95,79	45,61	-6,44	22,7
50	56	50	96,08	45,32	-6,53	22,2
50	57	50	96,37	45,03	-6,61	21,8
50	58	50	96,65	44,75	-6,69	21,4
50	59	50	96,93	44,47	-6,77	21,0
50	60	50	97,21	44,19	-6,85	20,7
50	61	50	97,49	43,91	-6,93	20,3
50	62	50	97,76	43,64	-7,00	19,9
50	63	50	98,03	43,37	-7,08	19,6
50	64	50	98,29	43,11	-7,16	19,2
50	65	50	98,55	42,85	-7,23	18,9
50	66	50	98,81	42,59	-7,31	18,6
50	67	50	99,06	42,34	-7,38	18,3
50	68	50	99,32	42,08	-7,46	18,0
50	69	50	99,57	41,83	-7,53	17,7

			Spannung	Spannung	Dämpfung	Leistung
Ri	R	RL	zwischen Ri und R	zwischen R und RL	in dB	in %
50	70	50	99,81	41,59	-7,60	17,4
50	71	50	100,05	41,35	-7,68	17,1
50	72	50	100,30	41,10	-7,75	16,8
50	73	50	100,53	40,87	-7,82	16,5
50	74	50	100,77	40,63	-7,89	16,3
50	75	50	101,00	40,40	-7,96	16,0
50	76	50	101,23	40,17	-8,03	15,7
50	77	50	101,46	39,94	-8,10	15,5
50	78	50	101,68	39,72	-8,16	15,3
50	79	50	101,90	39,50	-8,23	15,0
50	80	50	102,12	39,28	-8,30	14,8
50	81	50	102,34	39,06	-8,37	14,6
50	82	50	102,55	38,85	-8,43	14,3
50	83	50	102,77	38,63	-8,50	14,1
50	84	50	102,98	38,42	-8,56	13,9
50	85	50	103,18	38,22	-8,63	13,7
50	86	50	103,39	38,01	-8,69	13,5
50	87	50	103,59	37,81	-8,76	13,3
50	88	50	103,79	37,61	-8,82	13,1
50	89	50	103,99	37,41	-8,88	12,9
50	90	50	104,19	37,21	-8,94	12,8
50	91	50	104,38	37,02	-9,00	12,6
50	92	50	104,58	36,82	-9,07	12,4
50	93	50	104,77	36,63	-9,13	12,2
50	94	50	104,96	36,44	-9,19	12,1
50	95	50	105,14	36,26	-9,25	11,9
50	96	50	105,33	36,07	-9,31	11,7
50	97	50	105,51	35,89	-9,37	11,6
50	98	50	105,69	35,71	-9,43	11,4
50	99	50	105,87	35,53	-9,48	11,3
50	100	50	106,05	35,35	-9,54	11,1