

מעשיות הכבלים לרמקולים

תעשיית הכבילה בתחום האודיו הרחיקה לכת במעשיות אורבאניות והפרזה בתמחור. מעבר לכך, אף אחת מהחברות לא הציבה רף טכני שיקבע מה עובי הכבל או מה צריכה להיות תכונה פיסיקאלית נמדדת (כמו התנגדות) ע"מ להתאים. רוב חובבי האודיו אינם בעלי רקע טכני בתחום ולכן אפשר למכור להם די הרבה מעשיות. חלקם ממש מגוחך. החברות המציאו אפשרויות, לבדל עצמן מאחרות המייצרות בסה"כ את אותו כבל נחושת באותו אורך ובאותו שטח חתך.

1. המציאו כיווניות. אין לכך ראייה פיסיקאלית שלכיווניות יש השפעה על עוצמת הזרם או טיבו בכבל. בדיוק כמו לצינור השקיה.
2. טיפולים תרמיים, בד"כ בקור וטענו לשינוי בתכונות החומר. גם בזה, אין ביסוס מדעי שיוכיח תכונות משופרות. לפחות אף יצרן לא מראה תכונה פיסיקאלית מדידה לפני הטיפול ואחריו.
3. הוסיפו לכבל יחידה (תיבה) ובה רכיבים אלקטרוניים פאסיביים, שמשנים את התכונות שלו. אחרי שחיפשו מקור נאמן, מגבר שקוף ורמקול איכותי וויתרנו על בקרת הצליל (מרצון), למה לשלם ולהוסיף יחידה שמשנה את העקום היענות (טונאליות) ע"י כבל?
4. שינו את הרכב הכבל, מכבל עם מוליך עבה, לכבל עם בידוד עבה. לבידוד אין תפקיד בתכונות הכבל. עוביו, מעבר לכך שהוא נראה נחמד הוא לא משביח את הצליל. מצד שני, עם עובי הבידוד הגיע על חשבון המוליך, הרי שיצרו בעיה. אותה יפתרו בנקל עם כבל יקר יותר, שבו יש יותר נחושת.

הפן הטכני:

תרגיל פשוט בחשמל:

ההתנגדות [R] של מוליך נחושת, תלויה במקדם ההתנגדות של היסוד ϑ [באורכו (במטרים - L) ושטח החתך שלו (S, במילימטרים מרובעים)].

$$R = \vartheta \times L_{(m)} / S_{(mm^2)} \quad \vartheta_{(נחושת)} = 1.72 \cdot 10^{-8}$$

מה החשיבות של ההתנגדות [R] (הנמדד באוהמים [Ohm Ω]) בכבל רמקול?

כדי להבין את חלקו ותפקידו של הכבל רמקול בשרשרת שבין המגבר ולרמקול, צריך להתייחס אליהם (המגבר והרמקול) גם:

עכבת הרמקול:

לרמקול עכבת נומינאלית (התנגדות המורכבת גם מרכיב השראי (סליל) וקיבולי (קבל) של 8Ω).

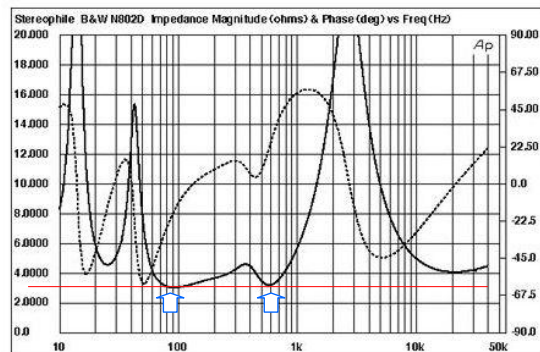


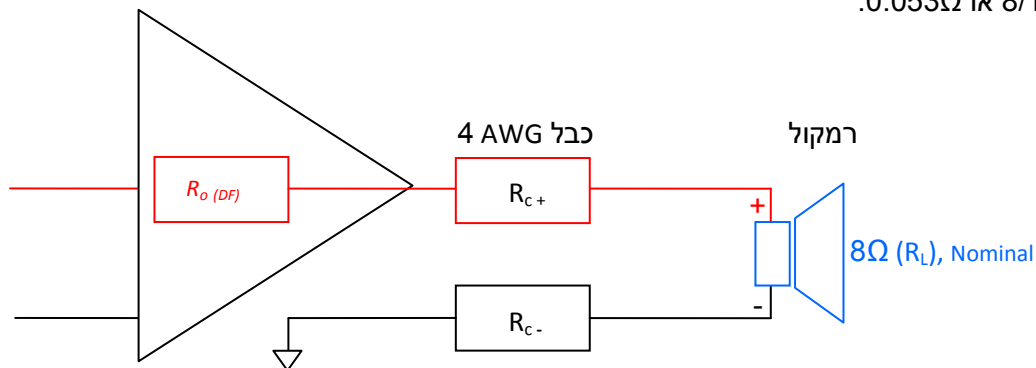
Fig.1 B&W 802D, electrical impedance (solid) and phase (dashed). (2 ohms/vertical div.)

איור 1: התנהגות העכבת של רמקול כתלות בתדר

אך זו משתנה כתלות בתדר, ועשויה לרדת כדי מחצית הערך, כלומר ל- 4Ω או לעלות גם כדי כפול ויותר. במקרה של הדגם המצורף בדוגמה, המוגדר כעכבת נומינאלית של 8Ω , ההתנגדות המינימאלית מגיע ל- 3Ω !

מקדם הריסון: *Dumping Factor*:

מצידו של המגבר, נמצא מקדם הריסון: *Dumping Factor* או *DF*. זהו מספר המתאר את היחס בין התנגדות המוצא של המגבר (R_o בד"כ בתדר של 1kHz) ועכבת הרמקול (8Ω) נומינלי. נניח שמדובר במגבר הספקי, שה-*DF* שלו 150. הרי שזה מגדיר שהתנגדות המוצא שלו R_o שווה ל- $8/150\Omega$ או 0.053Ω .



איור 2: שרשרת ההתנגדויות בין המגבר לרמקול

במשוואת מפלי המתח של מוצא המגבר, כל אחד מהנגדים מפיל על פניו את החלק היחסי לגודל ההתנגדות שלו בשרשרת. כך גם מפלי ההספק. בניגוד ל- R_o ועכבת הרמקול, התנגדות הכבל כפולה

$$R_c = R_c(+) + R_c(-)$$

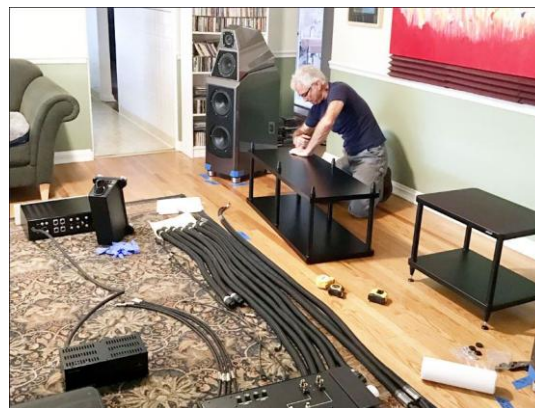
AWG עובי כבלים:

עובי כבלים לרמקולים נמדד בגיג' או AWG ויש לו טבלה. ערכי ה-AWG ככל שהם קטנים הכבל עבה יותר:

AWG	Diameter		Turns of wire		Area		Copper resistance	
	(inch)	(mm)	(per in)	(per cm)	(kcmil)	(mm ²)	(Ω /km)	(Ω /kFT)
							(m Ω /m)	(m Ω /ft)
0000 (4/0)	0.46	11.684	2.17	0.856	212	107	0.1608	0.04901
000 (3/0)	0.4096	10.404	2.44	0.961	168	85	0.2028	0.0618
00 (2/0)	0.3648	9.266	2.74	1.08	133	67.4	0.2557	0.07793
0 (1/0)	0.3249	8.252	3.08	1.21	106	53.5	0.3224	0.09827
1	0.2893	7.348	3.46	1.36	83.7	42.4	0.4066	0.1239
2	0.2576	6.544	3.88	1.53	66.4	33.6	0.5127	0.1563
3	0.2294	5.827	4.36	1.72	52.6	26.7	0.6465	0.197
4	0.2043	5.189	4.89	1.93	41.7	21.2	0.8152	0.2485
5	0.1819	4.621	5.5	2.16	33.1	16.8	1.028	0.3133
6	0.162	4.115	6.17	2.43	26.3	13.3	1.296	0.3951
7	0.1443	3.665	6.93	2.73	20.8	10.5	1.634	0.4982
8	0.1285	3.264	7.78	3.06	16.5	8.37	2.061	0.6282
9	0.1144	2.906	8.74	3.44	13.1	6.63	2.599	0.7921
10	0.1019	2.588	9.81	3.86	10.4	5.26	3.277	0.9989
11	0.0907	2.305	11	4.34	8.23	4.17	4.132	1.26
12	0.0808	2.053	12.4	4.87	6.53	3.31	5.211	1.588
13	0.072	1.828	13.9	5.47	5.18	2.62	6.571	2.003
14	0.0641	1.628	15.6	6.14	4.11	2.08	8.286	2.525
15	0.0571	1.45	17.5	6.9	3.26	1.65	10.45	3.184
16	0.0508	1.291	19.7	7.75	2.58	1.31	13.17	4.016
17	0.0453	1.15	22.1	8.7	2.05	1.04	16.61	5.064
18	0.0403	1.024	24.8	9.77	1.62	0.823	20.95	6.385
19	0.0359	0.912	27.9	11	1.29	0.653	26.42	8.051
20	0.032	0.812	31.3	12.3	1.02	0.518	33.31	10.15

איור 3: טבלת AWG

כאשר יצרן כבלים לרמקולים מציג כבל עבה, יש להתייחס לעובי המוליך (נחושת) **בלבד!** ולא לעובי הבידוד, שאינו תורם דבר מבחינה חשמלית או לצליל. יצרנים רבים מפליגים בבידוד עבה ומרשים. מבחינת הצליל זה ממש מיותר. כך, שאם היצרן שם בכבל חוט בעובי של 16 AWG, מדובר במוליך דק ששטח החתך שלו פחות מ- 1.5mm^2 וקוטרו כחצי מילימטר בלבד.



איור 4: כבלים עבים

התנגדותו של כבל 16 AWG ל-1 מטר, היא $0.013\ \Omega$, אך מאחר ומדובר תמיד ב-2 חוטים (אדום ושחור), שהזרם זורם בהם בין המגבר לרמקול, הרי שערך ההתנגדות למטר יהיה כפול: $0.026\ \Omega$. כבל רמקולים ממוצא מגיע לאורך של כ-3 מטר, וכך התנגדות כבל שכזה תהיה: $0.078\ \Omega$. התנגדות של $0.078\ \Omega$ זו התנגדות הגדולה פי 1.5X מהתנגדות המוצא של המגבר: $R_o = 0.053\ \Omega$.

ע"מ לקבל כבל טוב, למגבר הנ"ל, נחוץ כבל שיהיה בעל ערך התנגדותי קטן כדי עשירית ($1/10$) מערך הנגד הפנימי. כלומר 0.005Ω . באורך כבל רמקול של 3 מטר, יהיה זה כבל של 4-5 AWG. בד"כ אין בעיה לכבל שחושב בעובי לפי ה-DF מבחינת יכולת הזרמת זרם. אך ברמקולים בעלי עכבת מאוד נמוכה, כמו 2 Ω ב-Apogee או מגברים תואמים עם DF גבוהה כדי 500 או 1000, לעובי הכבל יש משמעות גדולה אף יותר. לעובי הכבל עשויות להיות משמעותיות סוניות.

מה ההתנגדות של הכבל עושה?

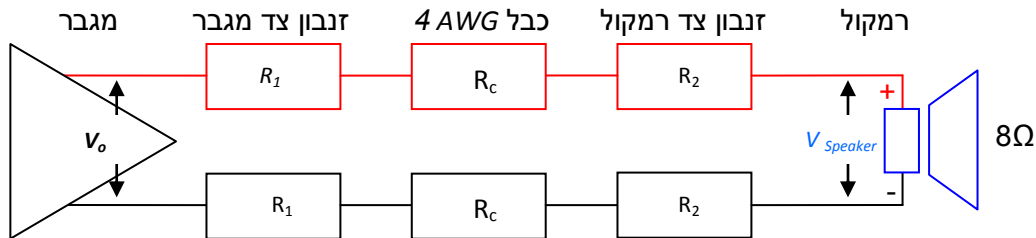
- ניתן להסתכל על הכבל (נגד טורי 2X) בכל מיני אופנים.
- פונקצית תמסורת: המטרה של הכבל, להעביר 1:1 את מוצא המגבר להדקי הרמקול. היה ולכבל יש התנגדות גדולה מהרצוי, חלק מהמתח ייפול עליו, והנתר על הרמקול. בהתאם, אם נתייחס להתנגדות המוצא של המגבר, הרי שהשקעה במגבר עם DF גבוהה, ורכישת כבל רמקול דק, מיתרים את האיכות הזו במגבר.
 - יכולת המגבר לאלץ את הרמקול למוצא פיו (היציאה שלו). מגבר טוב, יהיה מגבר שמגביר את אות הכניסה (מהמקור) 1:1 למוצא. בכל תחום התדר, ללא עיוותים וכו'. ברם, כבל רמקול טוב, יהיה כבל שמעביר את מתח המוצא של המגבר 1:1 להדקי הרמקול. אם לכבל התנגדות טורית משמעותית, יהיה הבדל בין המתח שנמדוד על הדקי היציאה מהמגבר ברגע נתון, לבין המתח על הדקי הרמקולים. היכולת הזו מקבלת גם ביטוי ע"י מקדם הריסון של המגבר. מה שאומר שמגבר בעל מקדם ריסון גבוהה (טוב) יודע לאלץ את רצונו על הרמקול. אם נניח בדרכו כבל רמקול דק ובעל התנגדות גבוהה (יחסית) למעשה הכשלנו את המגבר במשימתו.
 - תרגום של הכבל דק וכבל עבה, לתוצאה סונית, יתבטא בהידוק הבאס והצפת פרטים. זאת משום שעיקר האנרגיה (זרם ומתח) מגיעים בתחום הזה של התדרים. ע"י עיבוי התחום והפקתו באופן "מרוח", הוא מעיב גם על צלילים אחרים המצויים בתחום הביניים (Mid). למען ההגינות, ע"מ לאבחן את השינויים, יש לוודא שמדובר בצידוד המסוגל לשחזר אותם וגם חדר שקט ורמקולים מפורטים. בד"כ לא מקובל לבצע מיתוג B/A לכבלי רמקולים! אך גם בהשהיה (Delay), שבין השמעה, החלפה, והשמעה חוזרת, ניתן להבחין בשוני.

מבנה ומגבלות טכניות:

עלות הכבל תלויה בכמות הנחושת שבו. וככל שהכבל יותר עבה (או הגיג' הוא מספר יותר קטן), כך יש בו יותר נחושת ומחירו ומשקלו עולה. גם קשה יותר להשיג אותו. זוג כבלים של 3 מטר לכל צד, עשוי להגיע למשקל של כמה קילוגרמים. הסוגיה השנייה היא חיבור הכבל הזה לרמקול. בהינתן שמדובר ב-5 Way Binding Post, שיכול לקבל חוט גלוי, נעל כבל או תקע בננה, הרי שאי אפשר לחבר לשם 4 AWG ישירות. אפשר להשתמש בנעל כבל או בפלג בננה. גם באילו, בד"כ החור מתאים לחוט דק יותר כמו 8 AWG או אפילו דק אף יותר. בנעל כבל, יש נעלי כבל לקוטר של 4 AWG אך הנעל פשוט תהיה גדולה מדי, עבה מדי ולא תוכל להתחבר טוב להדקי המגבר או הרמקול. על מנת להתגבר על הבעיה, מקובל לחבר "זנבון" של חוט דק יותר מ-4 AWG בין קצה הכבל לתקע בננה או הנעל כבל. החיבור בד"כ נעשה ע"י הלחמה, הן של הבננה או הנעל כבל והן בין הכבל העבה של ה-4 AWG לדק יותר של הזנבון.

"זנבון": בחישוב כבל רמקול (כבל בודד לאדום, וכבל בודד לשחור) ניתן להתייחס ל-"זנבונים" (אחד בכל קצה, כלומר 2 לכבל) כאל נגד R_1 ו- R_2 . התנגדות הכבל תהיה שווה אם כך:

$$R = R_1 + R_c + R_2$$



[איור 5: התנגדויות כבל רמקול עם זנבונים](#)

כלומר התנגדות הכבל R_c ועוד 2 נגדים שווים (R_1 ו- R_2). מאחר ומדובר בכבלים יחסית קצרים, העובי השונה שלהם פחות משמעותי בחישוב, כך שסכום ההתנגדות של R_1 ו- R_2 די זניח, יחסית ל- R_c , אלא אם מדובר בחוט ממש דק! מרכיב נוסף לאיכות הכבל יהיה אורכו [L]. ככל שנוכל לקצר את הכבל, כן ייטב. אחד הפתרונות לכך יהיה שימוש במונו בלוקים (Mono Block) שיונחו קרוב מאוד לרמקול, אולי אפילו ממש לידו על הרצפה, ואילו החיבור ביניהם לקדם מגבר יתבצע ע"י חיבורי XLR אשר לאורכו אין משמעות (במרחקים שיש בחדר בבית). בכך ניתן להגיע לכבלי רמקולים קצרים מאוד, כדי מטר אחד.



[איור 6: מונו בלוקים \(Mono Block\) מונחים קרוב לרמקולים](#)

עובי הכבל [S], לא חייב להסתפק ב-4 AWG. יש גם כבלים עבים יותר, כמו 0 AWG וגם 000 AWG וכו' (ראה טבלה). ניתן לחבר רבעיה של כבלים כאילו (4 AWG או 0 AWG) במקביל, במבנה ריבועי ובמרכז להניח את הזנבון, בעובי 8 AWG או בעל העובי המתאים לחיבור לפלג בננה.

פּלג בננה:

מבנה פלג הבננה וקוטר הקדח עבור הזנבון משמעותיים. ככל שהקדח עבה יותר, הפלג יוכל להכיל זנבון בעל קוטר חוט יותר עבה. חוט עבה = התנגדות נמוכה. מרכיב נוסף, הוא במבנה הפין בננה שיוצר את המגע עם השקע. הצורה המועדפת תהיה צינור חצוי עם קצה גלי (ראה תמונה):



איור 7: פלג בננה

לפלג מסוג זה, יתרון בשטח מגע עדיף, בהידוק הקשר בין הפלג לשקע (אחיזה) ואריכות ימים.

יתרונות:

- **הפרדה פיזית:** להפרדת 2 הכבלים (אדום +] ושחור [-] זה מזה, מאפשרת את הרחקתם. היות וב-2 כבלים מקבילים, בהם זורם זרם חשמלי משתנה (AC) נוצר שטף מגנטי. בזוג, הזרמים נגדיים, כך שהשדות שואפים לבטל זה את זה. ההתנגדות לזרם שתופעה זו יוצרת אינה רצויה. הרחקתם מקטינה את השפעת השדות וגם את השפעתם השלילית במידה ויש כזו.
- **Skin Effect:** מקובל לחשב שזרמים בתדרים גבוהים (לא בתחום השמע, אך מעל...) נוטים לזרום במעטפת ולא בליבה או בכל שטח הכבל. לתכונה זו קוראים *Skin Effect*. מוליכים לתדר גבוהה מאוד (תג"מ) הם למעשה צינורות, חלקם מקוררי מים. ככל שהכבל יותר עבה, כך יש לו גם יותר שטח מעטפת. למעשה, הזרמים בתדרים הגבוהים די נמוכים, גם מפני שמדובר בהרמוניות גבוהות שעוצמתם חלשה משמעותית, וגם מפני שהרמקול אינו צורך בהם הרבה זרם (העכבת של הסליל בתדרים האלו גבוהה).

עלויות ומתח רווחים:

- כבלי רמקולים איכותיים ועבים, של חברה לכבלים (כמו למשל Tara Labs) :
<http://www.taralabs.com/speaker-cables> מתומחרים בהתאם לעוביים. לדוגמה:
- **Apollo:** הכבל הדק והזול בסדרה, ה-Apollo, החברה עושה שימוש בזוג כבלים של 14 AWG, והיא גובה עבור צמד של 2.5 מטר, 1,200 ₪.
 - **Omega:** הכבל עם עובי מוליך של 4 AWG, והדגם מכונה Omega, החברה גובה עליו **\$32,000!**
- ניתן לראות בתמונות באתר, שעבור דגם ה-Apollo, עובי החוט כעובי הזנבון (14 AWG), בנקודת החיבור של הכבל לתקע הבננה או הנעל כבל. מה שסביר להניח גם עובי הזנבון בכבל היקר: ה-Omega.
- במחירים האלו, כבר עדיף להשקיע את הכסף בזוג מונו בלוקים איכותיים ע"פ כבל מאוד יקר. ע"מ לייצר כבל באיכות של ה-Omega או אף עדיף עליו, חומרי הגלם יעלו פחות מ-1,000 ₪. בהינתן, שהחברה מיפה את הנראות ע"י שרוול אלומיניום מושחם עם הלוגו, רשת מתהדקת על הכבל, סופיות מבידוד מתכוון יעודי ואריזה מהודרת, הרי שבסופו של דבר הכבל שוכב מאחורי הציוד על הרצפה ומעלה אבק. כך שאף אחד מאילו אינו מצדיק את המחיר!

משמעויות סוניות:

כאשר כבל הרמקול מקיים את המשוואה שבו המתח במוצא המגבר זהה למתח שנפל על הדקי הרמקול, הצליל אמור להיות המיטבי. כפי שראינו, ע"מ להתקרב לשם, דרוש כבל קצר ועבה ככל שניתן, עם חיבורים איכותיים.

ככל שאנו מתרחקים משם, כלומר שהכבל מתארך, או שהוא נהיה דק יותר, להתנגדות הטורית שלו יש השפעה גם על הצליל.

מדובר בשונות סונית המתבטאת בעיבוי הבאס (שבו עיקר הזרם) ותכונה זו גם מעיבה על ניקיון הצליל וממסכת על פרטים בתחום הביניים (Midrange). זאת, כתלות בעכבת הרמקול. ככל שהעכבת קשה יותר (יורדת בטווח רחב של תדרים, לערך אוהמי נמוך, כמו 4Ω או אף פחות – ראה דוגמה), כך גוברת חשיבות העובי של כבל הרמקולים. כנ"ל כאשר המגבר איכותי ומתהדר ב-DF גבוהה. כאשר אנו מחליפים כבל רמקול, המצוי במנעד שבין כבל דק, לכבל עבה יותר, אך עדיין לא כדי צרכו, עשוי להתקבל שיפור. אם נחליף שוב לכבל עבה אף יותר, נקבל עוד שיפור. כמובן, שע"מ להבחין בשיפור שכזה, על ייתר מרכיבי המערכת להיות באיכות הנאותה ע"מ לאפשר זאת, וחדר שקט ואקוסטי.

במדרג המרכיבים המשפיעים, חשיבות הכבל פחותה מההגברה, וגם מהרמקול או האקוסטיקה של החדר. ברם, כפי שהחישובים משקפים, מיותר להשקיע בהגברה איכותית, או רמקולים משובחים (אך בעלי עכבת נמוכה), אם זו אינה מגובה בכבל רמקול עבה ואם אפשר גם קצר. "מקדם הרושם" של כבל עבה בידוד ודק נחוש, אולי נראה מרשים אך אינו תורם דבר לאופן שהוא נשמע. לעומת זאת, גם בידוד עבה יעלה כסף, ובמקרה של כבלים (כולל כבלי חשמל) יעלה מאוד את המחיר. עודף בידוד גם מסרבל את הכבל ומקשה אותו, בשעה שעדיף כבל גמיש ככל האפשר.

הפתרון העדיף, במקרה של כבל רמקול, הוא לרכוש את חומרי הגלם (להזמין במרשתת) ולעשות לבד (DIY), או לתת לחבר או בעל מקצוע לעשות עבורכם.

מה הכבל הנכון למערכת שלנו:

על מנת לענות על השאלה, יש לבצע חישוב: להתחשב באורך הכבל הנחוץ ($L=[m]$), במקדם הריסון של המגבר (DF) ובעכבת הרמקול. בהתאם, צריך לחשב את התנגדות הכבל שיהיה לפחות 1/10 מערך ה-DF ב- 8Ω . (אם הרמקול בעל עכבת נמוכה יותר, רצוי לעבות את הכבל בהתאם). לפי התוצאה, נבחר את הכבל בעל העובי המתאים מטבלת ה-AWG. נתאים לו סיומות בהתאם לאפשרויות שיש בצידוד (המגבר והרמקול). בד"כ תקע בננה יתאים. הבננה עדיפה על נעל כבל או חוט גלוי, מפני שברוב המקרים המגע הזה נחלש עם הזמן, ויש להדק אותו מדי פעם. בתקע בננה, במיוחד מהסוג המוצע, אין בעיה כזו. אם הכבל שנבחר כבד בשל היותו עבה, רצוי לתת לו תמיכה ולא לאפשר לו להיות תלוי על השקעים בגב הצידוד.

רצוי לעשות את הכבל קצר ככל שניתן, אך אין להגיע למצב שהכבל מתוח או בעל כיפוף חד באחד הקצוות. עדיף להאריך (בהזמנה או ביצירתו) בכמה ס"מ מאשר להגיע למצב הזה. לטובת הסימטריה, רצוי שאורך הכבלים ל-2 הרמקולים יהיה זהה, גם אם המרחקים שלהם מהצידוד שונים.